

BUKU AJAR **FISIOLOGI TUMBUHAN**



PROGRAM STUDI PENDIDIKAN BIOLOGI
FAKULTAS TARBIYAH DAN KEGURUAN
UIN RADEN INTAN LAMPUNG
2020

KATA PENGANTAR

Fisiologi Tumbuhan merupakan mata kuliah yang menyajikan kajian tentang proses metabolisme yang terjadi dalam tubuh tumbuhan yang menyebabkan tumbuhan tersebut dapat hidup. Mata kuliah ini merupakan salah satu mata kuliah dasar yang wajib diikuti oleh mahasiswa Biologi. Sebenarnya, saat ini telah beredar beberapa buku Fisiologi Tumbuhan yang berbahasa Indonesia, namun tampaknya masing kurang lengkap pada berbagai kajian sehingga buku tersebut dirasa masih kurang membantu belajar mahasiswa secara optimal. Oleh karena itu, kami terpanggil untuk menulis buku ajar Fisiologi Tumbuhan ini.

Buku ajar Fisiologi Tumbuhan ini terbagi atas 10 bab. Bab 1 menjelaskan berbagai konsep dasar dalam fisiologi, struktur dan fungsi sel tumbuhan; bab 2 menjelaskan hubungan air dan kehilangan air pada tumbuhan; bab 3 menjelaskan kebutuhan hara bagi tumbuhan; bab 4 menjelaskan proses fotosintesis yang terjadi pada tumbuhan; bab 5 menjelaskan respirasi tumbuhan; bab 6 menjelaskan metabolisme nitrogen; bab 7 menjelaskan enzim yang terdapat pada tumbuhan; bab 8 menjelaskan hormon tumbuhan; bab 9 menjelaskan pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan dan bab 10 menjelaskan perkecambahan dan dormansi pada biji. Dalam buku ajar ini setiap bab disajikan secara sederhana dan sangat jelas dan dilengkapi dengan tugas atau latihan. Pada akhir buku ajar disajikan glosarium, dengan demikian mahasiswa yang mempelajari buku ajar ini akan dapat segera memahami isinya dengan baik. Selain bermanfaat bagi para mahasiswa seperti yang telah disebut di atas, buku ini juga dapat digunakan sebagai bahan pengayaan bagi para guru Biologi SMA atau MAN serta guru IPA-Biologi SMP.

Buku ini kami susun melalui perjuangan berat dan panjang, dengan usaha keras dan motivasi tinggi, di bawah bimbingan dan arahan pendamping yang ahli dibidang Fisiologi Tumbuhan, yaitu Bapak Akbar Handoko, M.Pd. Kami sangat

berterimakasih dan memberikan penghargaan setinggi-tingginya kepada beliau, atas arahan dan bimbingan yang telah diberikan dengan tulus. Tidak lupa berterimakasih untuk jurusan Pendidikan Biologi Universitas Islam Negeri (UIN) Raden Intan Lampung beserta segenap sivitas akademika didalamnya, yang telah membimbing kami selama ini.

Kami menghimbau pembaca agar tidak segan-segan mengirimkan kritik dan saran atas buku ini agar dapat kami gunakan sebagai dasar untuk meningkatkan kualitasnya. Akhirnya, semoga buku ini bermanfaat bagi para mahasiswa dan bagi pembaca lain yang memerlukannya.

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
A. Sel Tumbuhan	2
B. Struktur dan Fungsi Sel Tumbuhan	3
BAB II	15
HUBUNGAN AIR DAN KEHILANGAN AIR PADA TUMBUHAN	15
A. Sifat Air.....	15
B. Peran Air Bagi Tumbuhan.....	16
C. Transportasi Pada Tumbuhan	17
D. Translokasi Pada Tumbuhan	20
E. Difusi dan Osmosis	21
F. Transpirasi.....	24
BAB III	28
KEBUTUHAN HARA BAGI TUMBUHAN	28
A. Peran Unsur Hara bagi Tumbuhan	28
BAB IV	33
FOTOSINTESIS	33
A. Pengertian Fotosintesis.....	33
B. Proses Fotosintesis	34
C. Reaksi-reaksi yang terjadi dalam Proses Fotosintesis.....	34
D. Reaksi Fotosintesis pada Tanaman C3, C4 dan CAM	38
BAB V	43
RESPIRASI TUMBUHAN.....	43
A. Pengertian Respirasi	43
B. Respirasi Pada Tumbuhan Tingkat Tinggi	51
C. Respirasi Pada Tumbuhan Tingkat Rendah.....	51
BAB VI.....	52

FIKSASI DAN METABOLISME NITROGEN	52
A. Fiksasi Nitrogen	52
B. Metabolisme Nitrogen	53
C. Efisiensi Tanaman C4 dan C3 terhadap Nitrat	54
BAB VII.....	56
ENZIM.....	56
A. Pengertian Enzim	56
B. Enzim di dalam Sel	56
C. Sifat-Sifat Enzim.....	57
D. Cara Kerja Enzim	58
E. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kerja Enzim	60
BAB VIII	63
HORMON.....	63
A. Hormon pada Tumbuhan.....	63
B. Senyawa-senyawa Organik Tanaman Lainnya yang Secara Biologis Aktif	67
BAB IX.....	71
PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN	71
A. Pertumbuhan Tumbuhan	71
B. Perkembangan Tumbuhan	73
C. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan dan Perkembangan.....	78
BAB X	81
PERKECAMBAHAN DAN DORMANSI PADA BIJI.....	81
A. Perkecambahan pada Biji	81
B. Dormansi pada Biji	81
DAFTAR PUSTAKA	99

BAB I

PENDAHULUAN

Kata fisiologi berasal dari bahasa latin yaitu physis berarti alam atau nature dan logor berarti ilmu. Fisiologi digunakan untuk berbagai bidang kajian seperti biomolekul, sel, jaringan, organ, sistem organ, serta organisme secara keseluruhan yang menjalankan fungsi fisik dan kimianya. Berdasarkan objek kajiannya dikenal fisiologi tumbuhan, fisiologi hewan, dan fisiologi manusia, meskipun prinsip fisiologi bersifat universal, tidak bergantung pada jenis organisme yang dipelajari.

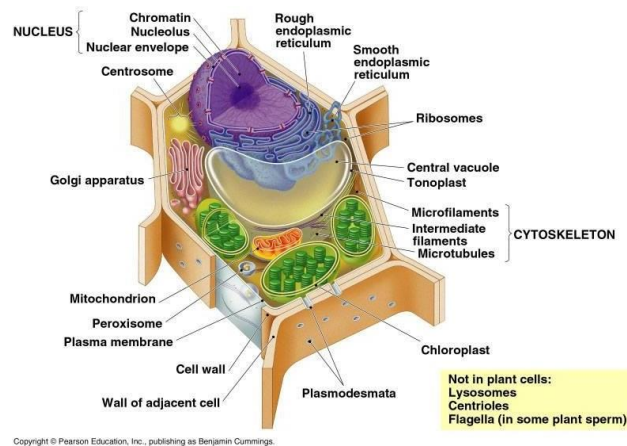
Fisiologi tumbuhan dapat diartikan sebagai ilmu tentang alam tumbuhan. Mempelajari fisiologi tumbuhan akan menambah kekaguman kita akan banyak hal yang terjadi didalam kehidupan. Kajian tentang fisiologi tumbuhan lebih ditunjukan kepada berbagai mekanisme atau proses biologis yang terjadi didalam tumbuhan. Ruang gerak untuk mencari keterangan-keterangan yang berhubungan dengan kehidupan tumbuhan dibatasi oleh hukum-hukum alam.

Ilmu yang paling mendasar untuk mempelajari fisiologi tumbuhan adalah biologi sel. Sel tumbuhan merupakan satuan dasar kehidupan. Semua fungsi kehidupan diatur dan berlangsung didalam sel. Tumbuhan termasuk kedalam organisme multiseluler, yang mana sel-selnya tersusun membentuk jaringan organ. Pada organisme multiseluler terjadi pembagian tugas terhadap sel-sel penyusunnya yang menjadi dasar bagi hirarki kehidupannya.

Sebagai makhluk hidup, tumbuhan menunjukkan aktivitas-aktivitas kehidupan yang dikaji di materi fisiologi tumbuhan. Maka sangat ideal jika dikatakan bahwa fisiologi tumbuhan adalah ilmu yang mempelajari aktivitas

dan fungsi suatu tumbuhan dalam menjaga dan mengatur kehidupannya. Dalam hal ini juga mempelajari tentang peran lingkungan terhadap kehidupan tumbuhan. Sebagai makhluk hidup, tumbuhan menunjukkan aktivitas-aktivitas seperti:

1. Mampu memproduksi makanannya sendiri.
2. Mampu menyerap dan menggunakan energi dari luar.
3. Mampu melakukan pengontrolan kerja dalam tubuhnya (misalnya faktor hormonal), yang melibatkan faktor lingkungan dan nutrisi.
4. Terus tumbuh dan berkembang sesuai kebutuhan hidupnya.



Gambar 1.1 Struktur Sel Tumbuhan

(Sumber: Campbell, 2010, hlm. 109)

A. Sel Tumbuhan

Sel adalah unit fundamental bagi struktur dan fungsi kehidupan. Beberapa jenis organisme, misalnya amoeba dan sebagian besar bakteri, merupakan sel tunggal. Organisme lain, termasuk tumbuhan dan hewan, bersifat multiseluler. Beberapa dari organisme tunggal yang melaksanakan semua fungsi kehidupan, organisme multiseluler memiliki pembagian tugas di antara sel-sel yang terspesialisasi. Tubuh manusia terdiri dari triliunan sel mikroskopis dari berbagai jenis, misalnya sel otot dan sel saraf, yang

terorganisasi menjadi berbagai jaringan terspesialisasi. Misalnya, jaringan otot terdiri dari berkas-berkas sel otot (Campbell, 2008, hlm. 5).

Sel memiliki bagian-bagian dan organel-organel yang berbeda bentuk, ukuran, struktur, dan fungsinya. Sel tumbuhan termasuk kedalam organisme eukariotik. Adapun Komponen-komponen sel atau organel-organel yang terdapat di dalam sel eukariotik tumbuhan, yaitu dinding sel, membran sel (membran plasma sel), retikulum endoplasma, badan golgi, nukleus (inti sel), vakuola, mitokondra, ribosom, sitoplasma, peroksisom, dan kloroplas.

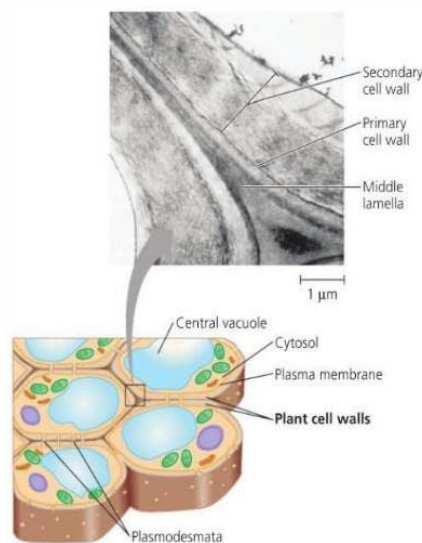
B. Struktur dan Fungsi Sel Tumbuhan

1. Dinding sel

Dinding sel memiliki ketebalan 0,1 μm hingga beberapa mikrometer. Dinding sel terdapat pada sel tumbuhan, jamur, dan alga. Sel tumbuhan muda mula-mula membentuk dinding sel primer antar sel yang berdekatan membentuk lamela tengah dari **pektin** atau polisakarida yang bersifat lengket. Setelah sel tumbuhan dewasa, sel tersebut akan membentuk dinding sel sekunder dari bahan selulosa yang kaku di antara membran plasma dan dinding primer. Pada dinding sel, terdapat noktah atau bagian dinding yang tidak menebal sehingga memungkinkan terjadinya hubungan antar plasma sel yang berbentuk jaluran disebut **plasmodesmata** (irnaningtias, 2016, hlm. 26).

Fungsi dinding sel, yaitu sebagai berikut.

- a. Melindungi sel.
- b. Mempertahankan bentuk sel.
- c. Mencegah penyerapan air yang berlebihan



Gambar 1.2 Struktur dinding sel

(Sumber: Campbell, 2010, hlm. 128)

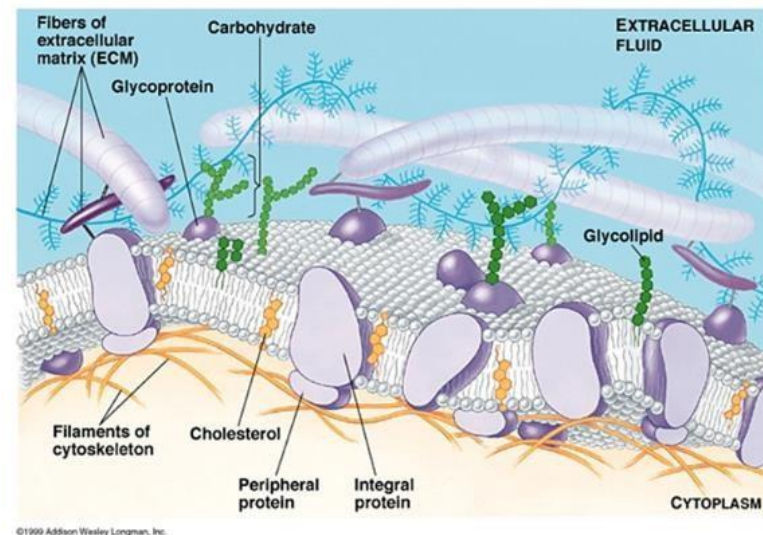
2. Membran sel (Membran Plasma)

Membran plasma merupakan lapisan rangkap lipid dengan bagian: hidrofilik (suka air) molekul lipidnya berada di permukaan. Bagian lipofilik (suka lemak), molekul tersebut menghadap ke dalam lapisan rangkap sehingga menyebabkan adanya ruang yang terang. Molekul protein yang mencakup 50% bahan membran tenggelam di lapisan rangkap itu, dengan satu atau kedua ujung menonjol ke salah satu atau kedua permukaan membran. Kedua permukaan membran berbeda secara khas (Hasnunidah, 2007).

Membran sel bersifat selektif permeabel atau semipermeabel karenanya hanya dapat dilewati oleh ion, molekul, dan senyawa-senyawa tertentu. Pada sel hewan dan manusia, membran sel terletak di bagian terluar, sedangkan pada tumbuhan membran sel dikelilingi dinding sel. Membran plasma tersusun dari bahan lipid (fosfolipid), protein, dan karbohidrat (Irnaningtias, 2016, hlm.16).

Menurut Irnaningtias (2016, hlm. 17) fungsi membran sel yaitu sebagai berikut:

1. Mengontrol masuk dan keluarnya zat dari atau ke dalam sel.
2. Sebagai perlindungan agar isi sel tidak keluar.
3. Sebagai reseptor (menerima rangsangan) dari luar sel.



Gambar 1.3 Struktur membran plasma sel

(Sumber: Campbell, 2010, hlm. 139)

3. Retikulum Endoplasma

Retikulum Endoplasma atau RE merupakan jejaring membran yang sedemikian eksentif sehingga menyusun lebih dari separuh total membran dalam banyak sel eukariot. (kata *endoplasma* berarti ‘di dalam sitoplasma’, sedangkan *reticulum* adalah kata latin untuk ‘jaring kecil’). RE terdiri dari jejaring tubulus dan kantung bermembran yang disebut sisterna (*cisterna* dari kata latin yaitu penampung cairan). Membran RE memisahkan kompartemen internal RE, disebut lumen (rongga) RE atau ruang sisterna, dari sitosol. Karena membran RE tersambung dengan selaput nukleus, ruang diantara kedua membran pada selaput nukleus tersambung dengan lumen RE (Campbell, 2008, hlm.112-113).

Terdapat dua wilayah pada RE yang berbeda hal struktur dan fungsi, walaupun saling terhubung. Yaitu RE halus dan RE kasar.

a) RE Halus

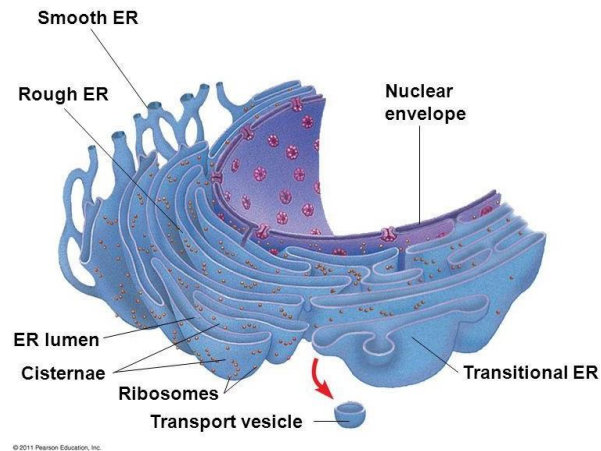
RE halus berfungsi dalam berbagai proses metabolik, yang bervariasi menurut tipe sel. Proses-proses ini antara lain adalah sintesis lipid, metabolisme karbohidrat, serta detoksifikasi obat-obatan dan racun.

b) RE Kasar

Banyak jenis sel menyekresikan protein yang dihasilkan oleh ribosom yang melekat pada RE kasar. Misalnya, sel-sel pankreas tertentu menyintesis protein insulin di RE dan menyekresikan hormon ini ke dalam aliran darah. Ketika rantai polipeptida tumbuh dari ribosom terikat, rantai tersebut dilepaskan ke dalam lumen RE melalui suatu pori yang dibentuk oleh kompleks protein dalam membran RE. Ketika memasuki lumen RE, protein baru melipat diri menjadi bentuk aslinya. Sebagian besar protein sekresi adalah glikoprotein, protein yang berikatan secara kovalen dengan karbohidrat. Karbohidrat ini dilekatkan ke protein dalam RE oleh molekul terspesialisasi yang ada dalam membran RE (Campbell, 2008, hlm.113).

Setelah protein sekresi terbentuk, membran RE menjaga protein tersebut terpisah dari protein yang dihasilkan oleh ribosom bebas dan akan tetap berada dalam sitosol. Protein sekresi meninggalkan RE dalam kondisi terbungkus membran vesikel yang bertunas seperti gelembung dari wilayah yang terspesialisasi yang disebut RE transisional. Vesikel yang bergerak dari satu bagian sel menuju bagian lain disebut **vesikel transpor** (Campbell, 2008, hlm.114).

Figure 6.11a



Gambar 1.4 Retikulum Endoplasma (RE)

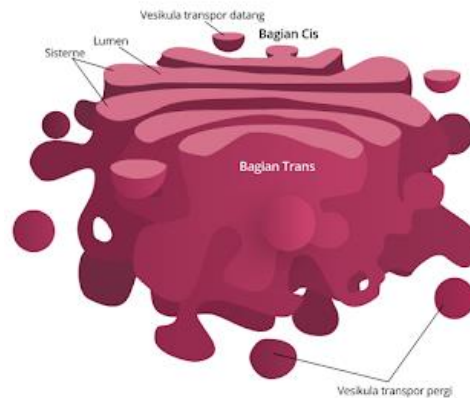
(Sumber: Campbell, 2010, hlm. 113)

4. Badan Golgi

Badan golgi terdiri dari kantung-kantung pipih bermembran yang terlihat seperti tumpukan roti pipih yang bisa dipotong untuk diberi isi. Suatu sel dapat memiliki banyak, bahkan ratusan, tumpukan semacam ini. Membran setiap sisterna dalam satu tumpukan macam itu memisahkan ruang internal sisterna dari sitosol. Vesikel yang terkonsentrasi di dekat aparatus golgi terlibat dalam tranfer materi diantara bagian-bagian golgi dan struktur-struktur lain (Campbell, 2008, hlm. 114).

Menurut irnaningtias (2016, hlm. 20) fungsi badan golgi, yaitu sebagai berikut.

- a) Berperan dalam sekresi atau membentuk vesikula yang berisis enzim untuk sekresi.
- b) Membuat makromolekul, seperti polisakarida dan asam hialuronat (zat lengket pada sel-sel hewan).
- c) Membentuk membran plasma dari vesikula-vesikula yang dilepaskan.
- d) Membentuk dinding sel pada tumbuhan



Gambar 1.5 Badan Golgi

(Sumber: <https://www.biologi-sel.com/2017/11/sel-tumbuhan.html>)

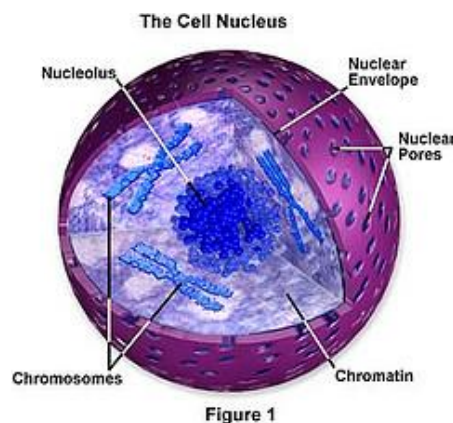
5. Nukleus (Inti Sel)

Nukleus mengandung sebagian besar gen dalam sel eukariot (sebagian gen terletak dalam mitokondria dan kloroplas). Nukleus umumnya merupakan organel yang paling menonjol dalam sel eukariot dengan diameter sekitar 5 μm . Dalam nukleus, DNA terorganisasi menjadi unit diskret yang disebut **kromosom**, struktur yang membawa informasi genetik. Setiap kromosom terbuat dari materi yang disebut **kromatin**, kompleks dari protein dan DNA. Kromatin yang diwarnai biasanya terlihat sebagai massa yang tidak jelas, baik menggunakan mikroskop cahaya maupun mikroskop elektron. Akan tetapi ketika sel bersiap-siap untuk membelah, serat kromatin yang tipis mengumpar (berkondensasi), sehingga cukup tebal untuk dibedakan sebagai struktur tersendiri yang akrab kita kenal sebagai kromosom. Setiap spesies eukariota memiliki jumlah kromosom yang khas. Misalnya, sel manusia mengandung 46 kromosom dalam nukleus; kecuali sel kelamin (sel telur dan sperma), yang pada manusia hanya mengandung 23 kromosom. Sebagian besar sel lalat buah mengandung 23 kromosom, kecuali sel kelamin yang memiliki 4 kromosom. Struktur menonjol dalam nukleus yang tidak membelah adalah

nukleolus (Campbell, 2008, hlm.111).

Menurut irnaningtias (2016, hlm.17) fungsi nukleus, yaitu sebagai berikut.

- a) Mengontrol sintesis protein dengan cara menyintesis Mrna sesuai dengan perintah DNA.
- b) Mengendalikan proses metabolisme sel.
- c) Menyimpan informasi genetik berupa DNA.
- d) Tempat penggandaan (replikasi) DNA.



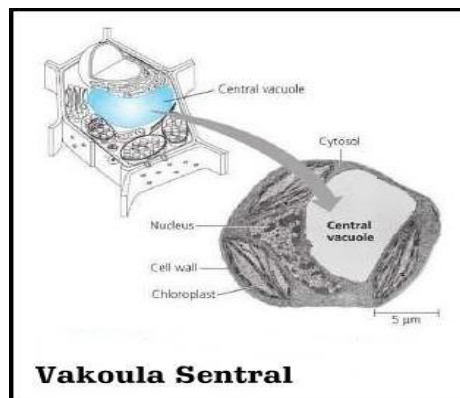
Gambar 1.6 Nukleus

(Sumber: <https://www.biologi-sel.com/2017/11/sel-tumbuhan.html>)

6. Vakuola

Vakuola adalah vesikel yang dibatasi membran dengan fungsi yang berbeda- beda pada jenis sel yang berbeda-beda. **Vakuola makanan** dibentuk pada saat fagositosis. Banyak protista air tawar memiliki **vakuola kontraktil** yang berfungsi memompa kelebihan air keluar dari sel, sehingga mempertahankan konsentrasi ion dan molekul yang sesuai di dalam sel. Pada tumbuhan dan fungi, yang tidak memiliki lisosom, vakuola melaksanakan hidrolisis. Akan tetapi, vakuola yang memegang peranan lain. Sel tumbuhan dewasa umumnya mengandung **vakuola sentral**. Vakuola sentral ini berkembang melalui penggabungan vakuola-vakuola yang lebih kecil, yang berasal dari Retikulum Endoplasma (RE) dan badan golgi. Dengan demikian,

vakuola merupakan bagian yang tak terpisahkan dari sistem endomembran sel tumbuhan. Seperti semua membran selular, membran vakuola bersifat selektif dalam mentranspor zat terlarut (Campbell, 2008, hlm.116).

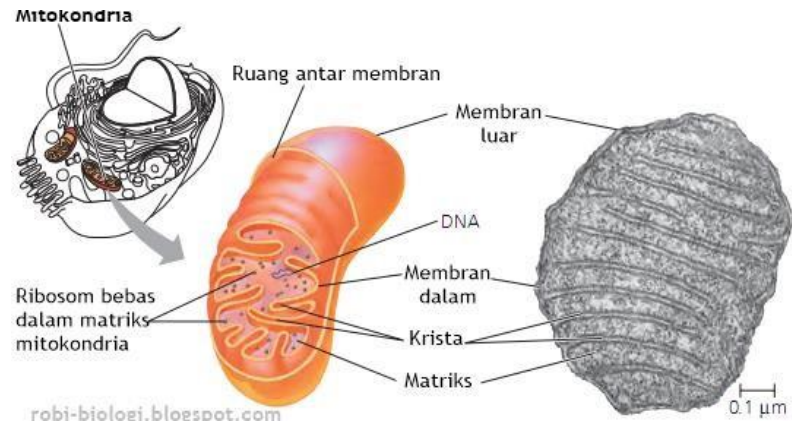


Gambar 1.7 Vakuola Sentral Sel Tumbuhan

(Sumber: Campbell, 2010, hlm. 117)

7. Mitokondria

Mitokondria merupakan tempat respirasi seluler, proses metabolik yang menghasilkan ATP dengan cara mengambil energi dari gula, lemak, dan bahan bakar lain dengan bantuan oksigen. Mitokondria ditemukan pada hampir semua sel eukariot, termasuk sel tumbuhan, hewan, fungi, dan sebagian besar protista. Mitokondria memiliki panjang kira-kira 1-10 μm. Mitokondria diselubungi oleh dua membran, yang masing masing merupakan lapisan ganda fosfolipid dengan sekumpulan unit protein yang tertanam di dalamnya. Membran luar bertekstur mulus, namun membran dalam berlipat-lipat, dengan pelipatan kedalam yang disebut **kristal**. Membran dalam membagi mitokondria menjadi dua kompartemen internal. Yang pertama adalah ruang antar membran, wilayah sempit diantara membran dalam dan membran luar, kompartemen kedua, matriks mitokondria diselubungi oleh membran dalam. Matriks ini mengandung banyak enzim yang berbeda, serta DNA mitokondria dan ribosom.



Gambar 1.8 Srtuktur mitokondria

(Sumber: Campbell, 2010, hlm.119)

8. Sitoplasma

Sitoplasma adalah cairan sel yang terletak di dalam sel, di luar inti sel, dan organel sel. Sitoplasma berbentuk cairan koloid homogen yang jernih serta mengandung nutrisi, ion-ion, garam, dan molekul organik (Irnaningtias, 2016, hlm.18).

Fungsi sitoplasma, yaitu sebagai berikut.

1. Tempat organel sel dan sitoskeleton.
2. Memungkinkan terjadinya pergerakan organel sel oleh aliran sitoplasma.
3. Tempat terjadinya reaksi metabolisme sel.
4. Untuk menyimpan molekul-molekul organik (misalnya, karbohidrat, lemak, protein, dan enzim).

9. Ribosom

Ribosom merupakan kompleks yang terbuat dari RNA ribosom dan protein, merupakan komponen selular yang melaksanakan sintesis protein.

Sel yang memiliki laju sintesis protein yang tinggi memiliki ribosom dalam jumlah yang sangat banyak. Misalnya, sel pankreas manusia memiliki beberapa juta ribosom (Campbell, 2018, hlm.112).

Ribosom membangun protein di dua lokasi pada sitoplasma. Setiap saat, *ribosom bebas* tersebar di dalam sitosol, sedangkan *ribosom terikat* melekat pada sisi luar retikulum endoplasma atau selaput nukleus. Sebagaimana besar protein yang dibuat di ribosom bebas berfungsi dalam sitosol; contohnya enzim-enzim yang mengkatalisis langkah pertama penguraian gula. Ribosom terikat umumnya membuat protein yang umumnya ditakdirkan untuk disisipkan ke dalam membran, untuk dikemas dalam organel tertentu seperti lisosom. Sel-sel yang terspesialisasi untuk sekresi protein misalnya, sel-sel pankreas yang menyekresikan enzim pencernaan sering memiliki presentase ribosom terikat yang tinggi (Campbell, 2018, hlm.112).

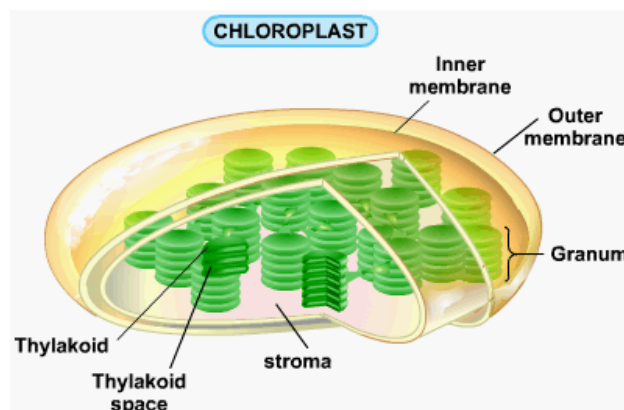
10. Peroxisom

Peroxisom adalah kompartemen metabolik terspesialisasi yang dibatasi oleh satu membran tunggal. Peroxisom mengandung enzim-enzim yang mentransfer hidrogen dari berbagai substrat ke oksigen (O_2), menghasilkan oksigen peroksida (H_2O_2) sebagai produk sampingan, yang menjadi sumber nama organel tersebut. Reaksi-reaksi ini mungkin memiliki banyak fungsi yang berbeda. Beberapa peroksisom menggunakan oksigen untuk memecahkan asam lemak menjadi molekul-molekul yang lebih kecil yang kemudian dapat ditranspor ke mitokondria, tempat molekul-molekul tersebut digunakan sebagai bahan bakar untuk respirasi selular, peroksisom dihati mendetoksifikasi alkohol dan senyawa-senyawa berbahaya lain dengan cara mentransfer hidrogen dari racun-racun tersebut ke oksigen. H_2O_2 yang dibentuk peroksisom sendiri bersifat toksik, namun organel itu juga mengandung sejenis enzim yang mengubah H_2O_2 menjadi air (Campbell, 2008, hlm. 120).

11. Kloroplas

Kloroplas adalah suatu anggota terspesialisasi dari famili organel-organel tumbuhan yang berkerabat dekat, yang disebut **plastida**. Beberapa anggota lain adalah amiloplas, plastida tak berwarna yang menyimpan pati (amilosa), terutama pada akar dan umbi, serta kromoplas, yang memiliki pigmen yang menyebabkan buah dan bunga berwarna jingga dan kuning. Kloroplas mengandung pigmen hijau yang bernama klorofil, serta berbagai enzim dan molekul lain yang berfungsi dalam produk gula secara fotosintesis. Organel-organel berbentuk lensa ini, yang berukuran sekitar 2 μm kali 5 μm , ditemukan di daun dan organ hijau lain pada tumbuhan dan alga (Campbell, 2008, hlm. 118).

Kandungan kloroplas dipisahkan dari sitosol oleh selaput yang terdiri dari dua membran yang dipisahkan oleh ruang antar membran yang sangat sempit. Di dalam kloroplas terdapat sistem bermembran lain dalam bentuk kantong-kantong pipih yang saling berhubungan sering disebut sebagai **tilakoid** (Campbell, 2008, hlm.118).



Gambar 1.9 Struktur kloroplas
(Gambar: Campbell, 2010, hlm.119)

TUGAS:

1. Gambarkan 1 buah sel tumbuhan beserta organel penyusunnya!
2. Bagaimana peranan fisiologi tumbuhan bagi kehidupan sehari-hari ?
3. Pilih 5 organel sel yang kamu ketahui, lalu uraikanlah fungsinya masing-masing!

BAB II

HUBUNGAN AIR DAN KEHILANGAN AIR PADA TUMBUHAN

A. Sifat Air

Air memiliki sifat-sifat fisika yang penting bagi kehidupan tumbuhan maupun semua organisme hidup, sifat-sifat tersebut antara lain:

- a. Titik didih air jauh lebih tinggi dibanding jenis cairan yang lain dan merupakan cairan yang paling umum. Sehingga air dapat menyerap sejumlah besar energi tanpa banyak menaikkan suhu, sehingga tubuh organisme menjadi lebih stabil dan metabolismenya akan stabil pula.
- b. Air mempunyai titik densitas maksimum pada 4°C. Hal ini yang menyebabkan kenapa air jarang membeku di dalam lautan atau danau. Sehingga, organisme dapat hidup di dalamnya.
- c. Molekul air mempunyai kemampuan untuk berikatan dengan molekul lain (adhesi, sedangkan kemampuan molekul tersebut untuk saling berikatan, disebut kohesi. Hal ini sangat membantu dalam proses pengangkutan air di dalam tubuh tumbuhan.
- d. Air memiliki panas penguapan (heats of vaporization). Cukup tinggi, sekitar 540 cal gm⁻¹. Angka tersebut sangat membantu dalam pemeliharaan temperature organisme.
- e. Air tegangan muka sangat tinggi. Sehingga air ini boleh naik didalam suatu kapiler sampai ketinggian sekitar 120cm, dan sangat bermanfaat bagi tumbuhan, dimana memungkinkan air untuk pindah atau bergerak secara ekstensif antar ruang partikel dan dalam dinding sel tumbuhan.
- f. Air mempunyai kemampuan yang tinggi untuk mentransmisikan cahaya, sehingga membantu tumbuhan di dalam fotosintesis terutama pada tumbuhan yang berada di dalam air. Selain itu dapat memampukan cahaya untuk menembus dan menjangkau jaringan daun-daun yang lebih dalam.

- g. Air berbentuk cair dalam suhu kamar, sehingga kehadiran air yang cair pada suhu kamar dan tidak bersifat toksik merupakan sifat air yang penting bagi kehidupan, selain itu air tidak dapat dimampatkan.
- h. Air memiliki viskositas (kekentalan) yang rendah, sehingga dapat dengan mudah mengalir. Hal ini sangat penting bagi kehidupan tanaman, karena dengan demikian air dengan mudah berpindah di dalam tubuh.
- i. semua sifat fisika air di atas membuat air merupakan suatu medium ideal untuk pelaksanaan berbagai proses hidup (Parwati, 2013)

B. Peran Air Bagi Tumbuhan

Peran air dalam fisiologi tumbuhan merupakan hal yang sangat penting. Fungsi atau peran air bagi tanaman dalam fase pertumbuhan dan perkembangannya, diantaranya: air bagi tanaman merupakan bahan penyusun utama dari pada protoplasma, kandungan air yang tinggi aktivitas fisiologis tinggi sedang kandungan air rendah aktivitas fisiologisnya rendah, air merupakan reagen dalam tubuh tanaman, yaitu pada proses fotosintesis, air merupakan pelarut substansi (bahan-bahan) pada berbagai hal dalam reaksi-reaksi kimia, air digunakan untuk memelihara tekanan turgor, sebagai pendorong proses respirasi, sehingga penyediaan tenaga meningkat dan tenaga ini digunakan untuk pertumbuhan, secara tidak langsung dapat memelihara suhu tanaman.

Pada tanaman, jika kekurangan air akan menyebabkan tanaman tersebut menjadi kerdil, dan perkembangannya menjadi abnormal. Kekurangan yang terjadi terus menerus selama periode pertumbuhan akan menyebabkan tanaman tersebut menderita dan kemudian mati. Sedang tanda-tanda pertama yang terlihat ialah layunya daun-daun. Peristiwa kelayuan ini disebabkan karena penyerapan air tidak dapat mengimbangi kecepatan penguapan air dari tanaman. Jika proses transpirasi ini cukup besar dan penyerapan air tidak dapat mengimbangnya, maka tanaman tersebut akan mengalami kelayuan sementara (*transcient wilting*), sedangkan ada pula tanaman yang akan mengalami kelayuan tetap, yaitu jika keadaan air dalam tanah telah mencapai permanent (*wilting*

percentage). Tanaman dalam keadaan ini sudah sulit untuk disembuhkan karena sebagian besar sel-selnya telah mengalami plasmolisis (Lakitan, 2007).

C. Transportasi Pada Tumbuhan

Transportasi tumbuhan merupakan suatu mekanisme proses pengambilan dan pengeluaran zat-zat ke seluruh bagian tubuh tumbuhan. Pada tumbuhan, tempat terjadinya transportasi dibagi menjadi dua. Yaitu pada tumbuhan tingkat rendah, penyerapan air dan zat hara yang terlarut di dalamnya dilakukan melalui seluruh bagian tubuh. Sedangkan pada tumbuhan tingkat tinggi, proses pengangkutan dilakukan oleh pembuluh pengangkut yang terdiri dari xylem dan floem. Mekanisme proses transportasi ini dapat berlangsung karena adanya proses difusi, osmosis, imbibisi dan transpor aktif (Berg, 2007).

a. Difusi

Difusi adalah perpindahan ion atau molekul dari konsentrasi tinggi (hipertonik) ke konsentrasi rendah (hipotonik) dengan atau tanpa membran semipermeabel. Dengan demikian, difusi terjadi karena perbedaan konsentrasi. Adanya perbedaan konsentrasi tersebut akan menimbulkan tekanan pada molekul-molekul, sehingga molekul-molekul itu menyebar (Devia, 2011).

b. Osmosis

Osmosis merupakan proses perpindahan air dari daerah yang berkonsentrasi rendah (hipotonik) ke daerah yang berkonsentrasi tinggi (hipertonik) melalui membran semipermeabel.

c. Imbibisi

Imbibisi yaitu peresapan air ke dalam ruangan antar dinding sel, sehingga dinding selnya akan mengembang. Adapun dalam hubungannya dengan pengambilan zat oleh tumbuhan, imbibisi berarti kemampuan dinding sel dan plasma sel untuk menyerap air dari luar sel. Air yang diserap itulah yang disebut imbibisi. Pada peristiwa tersebut, molekul-molekul air terikat diantara molekul dinding sel atau plasma sel. Dan menyebabkan plasma sel akan mengembang. (Devia, 2011).

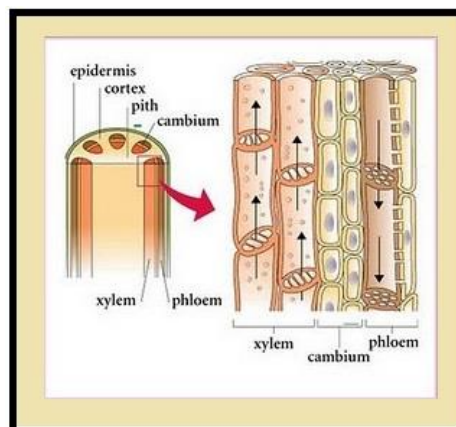
d. Transpor Aktif

Transpor aktif merupakan sistem transportasi suatu molekul melintasi membran dengan menggunakan energi ATP. Sistem transport ini melibatkan pertukaran ion Na^+ dan K^+ . disamping itu, proses itu juga melibatkan peranan protein pembawa yang dikenal sebagai protein kontraspor. Protein ini mengangkut ion Na^+ bersama-sama dengan molekul lain seperti gula dan asam amino dari luar sel ke dalam sel. Misal perpindahan air dari korteks ke stele (Dwijoseputro, 1983).

Jenis-jenis Transportasi (Pengangkutan) pada Tumbuhan

a. Transportasi intravaskuler (lintasan air dan mineral dari akar ke daun)

Prosesnya yaitu air dan mineral yang sudah berada di xilem akar lalu menuju batang bergerak menuju xilem pada tangkai daun, lalu masuk ke xilem urat daun. Pada ujung urat daun, air lepas masuk ke lapisan bunga karang dan sel palisade. Air yang ada didalam sel bunga karang lalu diuapkan melalui stomata. Proses penguapan air yang terjadi lewat stomata tersebut kemudian disebut transportasi atau proses pengangkutan makanan pada tumbuhan.



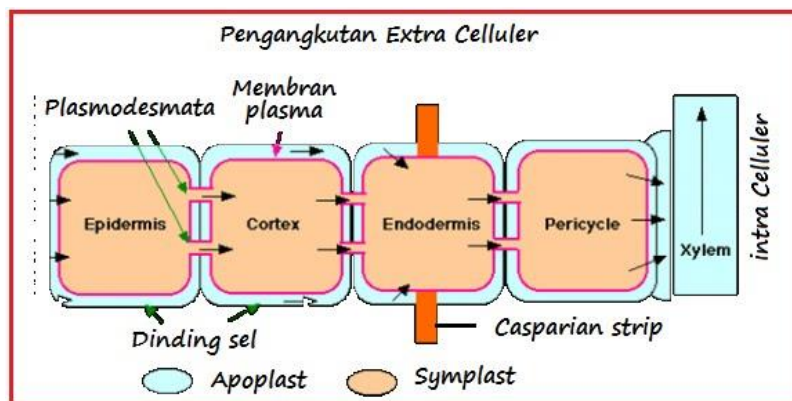
Gambar 2.1 Transportasi intravaskuler

(Sumber: Morales, 2012)

b. Transportasi ekstrasvaskuler (Lintasan air dan mineral dari tanah ke akar)

Transportasi ekstrasvaskuler adalah pengangkutan air dan zat-zat penting yang terjadi di luar berkas pembuluh pengangkut. Pengangkutan air dan mineral

dari dalam tanah di luar berkas pembuluh ini dilakukan melalui 2 mekanisme, yaitu apoplas (melalui ruang antar sel) dan simplas (melalui sitoplasma). Proses dari transportasi ini adalah air dan mineral dari dalam tanah melalui rambut akar menuju ke sel epidermis lalu menuju korteks, setelah itu ke endodermis, lalu silinder pusat. Namun bila terjadi pada akar muda, air dan mineral tersebut langsung menuju ke xilem. Sedangkan pada sel yang sudah tua tidak langsung ke xilem, tetapi menuju ke floem terlebih dahulu, lalu baru kemudian ke sel kambium dan terakhir ke xilem (Filter, 1991).



Gambar 2.2 Transportasi Ekstravaskuler

(Sumber: Filter, 1991)

Faktor Yang Mempengaruhi Trasportasi Tumbuhan

Proses pengangkutan air dan zat-zat terlarut hingga sampai ke daun pada tumbuhan dipengaruhi oleh :

- a. Daya kapilaritas : pembuluh xilem yang terdapat pada tumbuhan dianggap sebagai pipa kapiler. Air akan naik melalui pembuluh kayu sebagai akibat dari gaya adhesi antara dinding pembuluh kayu dengan molekul air.
- b. Daya tekan akar : tekanan akar pada setiap tumbuhan berbeda-beda. Besarnya tekanan akar dipengaruhi besar kecil dan tinggi rendahnya tumbuhan. Bukti adanya tekanan akar adalah pada batang yang dipotong, maka air tampak menggenang dipermukaan tunggaknyanya.

- c. Daya hisap daun : disebabkan adanya penguapan (transpirasi) air dari daun yang besarnya berbanding lurus dengan luas bidang penguapan (intensitas penguapan).
- d. Pengaruh sel-sel yang hidup.

D. Translokasi Pada Tumbuhan

Proses pengangkutan bahan makanan dalam tumbuhan dikenal dengan translokasi. Translokasi merupakan pemindahan hasil fotosintesis dari daun atau organ tempat penyimpanannya ke bagian lain tumbuhan yang memerlukannya. Jaringan pembuluh yang bertugas mengedarkan hasil fotosintesis ke seluruh bagian tumbuhan adalah floem (pembuluh tapis). Zat terlarut yang paling banyak dalam getah floem adalah gula, terutama sukrosa. Selain itu, di dalam getah floem juga mengandung mineral, asam amino dan hormon, berbeda dengan pengangkutan pada pembuluh xilem yang berjalan satu arah dari akar ke daun, pengangkutan pada pembuluh floem dapat berlangsung kesegala arah, yaitu dari sumber gula (tempat penyimpanan hasil fotosintesis) ke organ lain tumbuhan yang memerlukannya (Dwijoseputro, 1983).

Satu pembuluh tapis dalam sebuah berkas pembuluh bisa membawa cairan floem dalam satu arah sementara cairan didalam pipa lain dalam berkas yang sama dapat mengalir dengan arah yang berlainan (Dartius, 1991). Untuk masing-masing pembuluh tapis, arah transport hanya bergantung pada lokasi sumber gula dan tempat penyimpanan makanan yang dihubungkan oleh pipa tersebut. Aspek dari translokasi floem diantaranya adalah:

1. Jalur translokasi.

Gula dan bahan organik lainnya terkonduksi melalui tumbuhan di dalam floem, yang secara khusus disebut elemen penyaring. Elemen penyaring menunjukkan variasi adaptasi struktural yang membuatnya cocok untuk transportasi.

2. Pola translokasi.

Bahan-bahan ditranslokasikan di dalam floem dari sumber (area suplai fotosintat) menuju sinks (area metabolisme/penyimpanan fotosintat). Sumber

biasanya berupa daun matang dan Sinks berupa organ-organ seperti akar, daun muda dan buah.

3. Bahan-bahan yang ditranslokasikan di dalam floem.

Zat-zat yang ditranslokasikan utamanya berupa karbohidrat, dan sukrosa merupakan gula yang paling banyak ditranslokasikan. Getah floem juga berisi molekul organik lainnya seperti asam amino, hormon, dan ion anorganik. Selain itu, aspek lain dari translokasi floem sangat diperlukan untuk investigasi lebih lanjut, dan mayoritas sedang dalam penelitian saat ini. Aspek-aspek tersebut diantaranya adalah:

1. Proses loading dan unloading dari floem.

Transportasi gula menuju dan keluar dari elemen penyaring disebut loading dan unloading. Pada beberapa spesies, gula harus masuk secara apoplas dari sumber sebelum loading dan memerlukan energi metabolik yang disediakan dari pembentukan gradient proton. Unloading floem juga memerlukan energi metabolik, tetapi jalur transport nya, sisi metabolisme dari transport gula, dan sisi dimana energi dikeluarkan berbeda pada setiap organ dan spesies.

2. Mekanisme translokasi.

Tekanan aliran yang diterima adalah mekanisme yang paling memungkinkan untuk translokasi floem. Keragaman struktur dan fisiologis mengindikasikan bahwa bahan-bahan yang ditranslokasikan floem pada Angiosperma dengan menekan aliran (Salisbury, 1995).

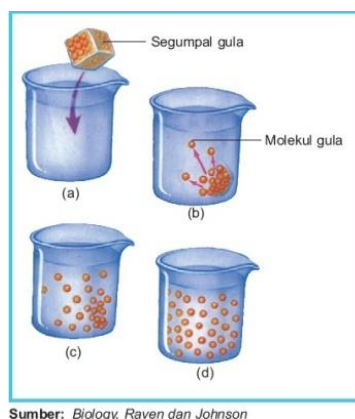
E. Difusi dan Osmosis

Difusi

Difusi adalah pergerakan molekul atau ion dari daerah konsentrasi tinggi ke daerah dengan konsentrasi rendah yang disebabkan oleh energi kinetik dari molekul, ion atau atom-atom. Difusi dapat terjadi akibat perbedaan konsentrasi, dimana perbedaan konsentrasi ini bisa ada karena perbedaan sejumlah partikel per unit volume dari suatu keadaan ke keadaan lain. Selain karena perbedaan konsentrasi, perbedaan dalam sifat juga dapat menyebabkan difusi (Aqil, 2013).

Contoh difusi pada tumbuhan dapat dilihat pada proses pertukaran gas pada tumbuhan yang berlangsung di daun. Di dalam proses ini gas CO_2 dari atmosfer masuk ke dalam rongga antar sel pada mesofil daun, yang selanjutnya digunakan untuk proses fotosintesis. Karena pada siang hari CO_2 yang masuk ke daun selalu digunakan untuk fotosintesis, maka kadar CO_2 di dalam rongga antar sel daun akan selalu lebih rendah dari atmosfer, akibatnya pada siang hari akan terjadi aliran difusi gas CO_2 dari atmosfer ke daun. Bersamaan dengan itu terjadi pula difusi gas O_2 dari rongga antar sel daun menuju atmosfer. Hal ini dikarenakan pada proses fotosintesis dihasilkan O_2 , yang makin lama terakumulasi di dalam rongga antar sel daun, sehingga kadarnya melebihi kadar oksigen di atmosfer. Dalam kondisi seperti ini memungkinkan oksigen untuk berdifusi dari daun ke atmosfer (Heddy, 1990).

Sedangkan pada malam hari terjadi proses difusi yang sebaliknya, pada malam hari tidak terjadi proses fotosintesis namun proses respirasi terus berjalan, sehingga kandungan CO_2 dalam rongga antar sel menjadi meningkat. Laju difusi tergantung pada suhu dan densitas (kepadatan) medium. Gas berdifusi lebih cepat dibandingkan dengan zat cair, sedangkan zat padat berdifusi lebih lambat dibandingkan dengan zat cair. Molekul berukuran besar lebih lambat pergerakannya dibanding dengan molekul yang lebih kecil (Heddy, 2010).



Sumber: Biology, Raven dan Johnson

Gambar 2.3 Proses Difusi

(Sumber: Biology, Raven dan Johnson)

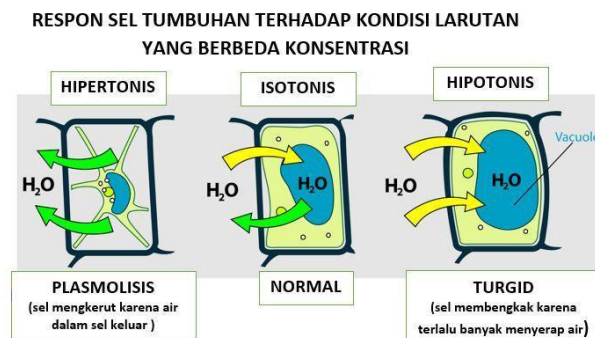
Osmosis

Osmosis pada dasarnya hampir sama dengan difusi, hanya saja osmosis adalah proses difusi tapi melalui membran semipermeabel. Dimana molekul-molekul tersebut akan berpindah dari daerah dengan konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah. Proses Osmosis ini akan berhenti jika konsentrasi zat di kedua sisi membran tersebut telah mencapai keseimbangan (Suhartono, 2008).

Osmosis memegang suatu peran yang sangat penting di dalam hidup tumbuhan diantaranya:

- Penyerapan air oleh tumbuhan dari tanah melalui rambut akar, melalui mekanisme osmotik.
- Air yang diserap dibagi-bagikan sepanjang seluruh jaringan yang hidup, dilakukan dengan proses osmosis dari sel ke sel.
- Cahaya merangsang peningkatan osmosis pada sel pengawal, sehingga menyebabkan pengambilan air ketika stomata membuka.
- Pertumbuhan sel yang muda sampai pemanjangan sel disempurnakan oleh kemampuan osmotik dan tekanan turgor dari sel.

Proses masuknya larutan ke dalam sel-sel endodermis merupakan contoh proses osmosis. Dalam tubuh organisme multiseluler, air bergerak dari satu sel ke sel lainnya dengan leluasa. Selain air, molekul-molekul yang berukuran kecil seperti O_2 dan CO_2 juga mudah melewati membran sel. Osmosis juga dapat terjadi dari sitoplasma ke organel-organel bermembran (Santoso, 2010).



Gambar 2.4 Peristiwa Osmosis pada Sel Tumbuhan

(Sumber: <https://perbedaan.budisma.net/perbedaan-larutan-isotonik-hipotonik-dan-hipertonik.html>)

F. Transpirasi

Transpirasi adalah kemampuan tanaman kehilangan air dalam bentuk uap dari jaringan tumbuhan melalui stomata. Kemungkinan kehilangan air dari jaringan tanaman melalui bagian tanaman yang lain dapat saja terjadi, tetapi porsi kehilangan tersebut sangat kecil dibandingkan dengan yang hilang melalui stomata. (Lakitan, 2007)

Fungsi transpirasi pada pertumbuhan tanaman untuk mengetahui kemampuan fotosintesis tanaman dalam kepemilikan terhadap air tersedia dan membantu proses transport unsur hara dan garam-garam mineral dari akar menuju batang dan daun. Proses transpirasi dapat terjadi melalui proses membuka dan menutupnya stomata. Pada kondisi yang memadai, transpirasi mampu menyediakan air yang cukup. Apabila proses transpirasi terganggu maka laju transpirasi akan rendah dan menurunkan turgor pada sel sehingga proses membuka dan menutupnya stomata terhambat (Berg, 2007).

Menurut (Lakitan, 2007) penyebab air banyak yang hilang ke atmosfer melalui tanaman yaitu bahan yang terkandung didalam tanaman sebagian besar adalah senyawa kerangka karbon, di mana karbon tersebut berasal dari udara dalam bentuk CO_2 . Tumbuhan menyerap CO_2 tersebut melalui stomata. Jika tumbuhan ingin menyerap lebih banyak CO_2 , maka stomata harus dibuka lebar. Akibatnya jika stomata dibuka lebar maka tanaman akan lebih banyak kehilangan air. Karena baik CO_2 maupun uap air bergerak melalui stomata yang sama.

Pada siang hari tanaman menerima radiasi matahari. Sebagian dari radiasi matahari ini akan diserap tanaman. Jika serapan energi matahari ini tidak diimbangi dengan usaha untuk membebaskan energi tersebut, maka suhu tanaman akan meningkat. Peningkatan suhu yang berlebihan akan sangat mengganggu metabolisme tumbuhan (Trisna, 2013). Transpirasi terjadi dalam setiap bagian tumbuhan, pada umumnya kehilangan air terbesar berlangsung melalui daun, terdapat dua tipe transpirasi yaitu :

1. Transpirasi kutikula yaitu evaporasi air yang terjadi secara langsung melalui kutikula epidermis
2. Transpirasi stomata yang dalam hal ini kehilangan air berlangsung melalui stomata. Hampir 97% air dari tanaman hilang melalui transpirasi stomata (Dartius, 1991).

Selain itu terdapat pula faktor internal dan eksternal yang mempengaruhi transpirasi:

a. Faktor internal

Faktor internal yang mempengaruhi proses transpirasi antara lain :

1. Penutupan stomata, dengan terbukanya stomata lebih lebar, air yang hilang lebih banyak tetapi peningkatan kehilangan air lebih sedikit untuk masing-masing satuan penambahan pelebaran stomata. Banyak faktor yang mempengaruhi pembukaan dan penutupan stomata, yang paling berpengaruh adalah tingkat cahaya dan kelembapan. Pada sebagian besar tanaman, cahaya dan kelembapan dalam daun yang rendah, sel-sel pengawal kehilangan turgornya mengakibatkan penutupan stomata.
2. Jumlah dan ukuran stomata, kebanyakan daun dan tanaman yang produktif mempunyai banyak stomata pada kedua sisi daunnya. Jumlah dan ukuran stomata yang dipengaruhi oleh genotip dan lingkungan.
3. Jumlah Daun, semakin luas daerah permukaan daun, makin besar transpirasi.
4. Penggulungan atau pelipatan daun, banyak tanaman yang mempunyai mekanisme dalam daun yang menguntungkan pengurangan transpirasi apabila ketersediaan air terbatas.
5. Kedalaman dan Proliferasi Akar, perakaran yang lebih dalam meningkatkan ketersediaan air dan proliferasi akar meningkatkan pengambilan air dari suatu satuan volume tanah sebelum terjadi pelayuan tanaman (Berg, 2007).

b. Faktor eksternal

Faktor eksternal yang mempengaruhi proses transpirasi antara lain :

1. Kelembapan

Pada kondisi cerah udara tidak banyak mengandung air. Pada kondisi tersebut tekanan uap di dalam daun jauh lebih tinggi dibandingkan tekanan uap di luar daun, sehingga molekul-molekul air berdifusi dari konsentrasi yang tinggi (di dalam daun) ke konsentrasi rendah (di luar daun) sehingga melancarkan transpirasi. Sebaliknya jika kondisi udara banyak mengandung awan maka kebasahan antara bumi dengan awan itu sangat tinggi. Dengan demikian maka perbedaan kebasahan udara di dalam dan di luar akan berbeda; keadaan yang demikian ini menghambat difusi uap air dalam sel ke lingkungan (luar daun) dengan artian menghambat transpirasi (Barid, 2007)

2. Temperatur

Kenaikan temperatur menambah tekanan uap di dalam dan di luar daun, namun tekanan di dalam daun jauh lebih tinggi dibandingkan di luar. Akibat dari perbedaan tekanan ini maka uap air di dalam daun lebih mudah berdifusi ke lingkungan (Barid, 2007).

3. Sinar matahari

Sinar matahari menyebabkan membukanya stomata dan gelap menyebabkan menutupnya stomata, sehingga banyak sinar berarti mempercepat laju transpirasi. Karena sinar itu juga mengandung panas, maka banyak sinar berarti juga menambah panas dengan demikian menaikkan temperatur. Kenaikan temperatur sampai pada batas tertentu menyebabkan melebarnya stomata dengan demikian memperbesar laju transpirasi (Barid, 2007).

Cahaya mempengaruhi laju transpirasi melalui dua cara, pertama cahaya akan mempengaruhi suhu daun sehingga dapat mempengaruhi aktifitas transpirasi dan yang kedua dapat mempengaruhi transpirasi melalui pengaruhnya terhadap buka tutupnya stomata.

4. Angin

Angin mempunyai pengaruh ganda yang cenderung saling bertentangan terhadap laju transpirasi. Angin menyapu uap air hasil transpirasi sehingga angin menurunkan kelembaban udara di atas stomata,

sehingga meningkatkan kehilangan neto air. Namun jika angin menyapu daun, maka akan mempengaruhi suhu daun. Suhu daun akan menurun dan hal ini dapat menurunkan tingkat transpirasi.

Pada umumnya angin yang sedang menambah kegiatan transpirasi. Hal ini dapat dimaklumi karena angin membawa pindah uap air yang bertimbun-timbun dekat stomata. Dengan demikian maka uap yang masih ada di dalam daun kemudian mendapat kesempatan untuk berdifusi ke luar.

5. Ketersediaan air tanah

Laju transpirasi dapat dipengaruhi oleh ketersediaan airtanahdan laju absorpsi air di akar. Pada siang hari biasanya air ditranspirasikan lebih cepat dari pada penyerapan air dari tanah. Hal tersebut menyebabkan defisit air dalam daun sehingga terjadi penyerapan yang besar, pada malam hari terjadi sebaliknya. Jika ketersediaan air tanah menurun sebagai akibat penyerapan oleh akar, gerakan air melalui tanah ke dalam akar menjadi lambat. Hal ini cenderung untuk meningkatkan defisit air di dalam daun dan menurunkan laju transpirasi lebih lanjut (Barid, 2007).

TUGAS:

1. Jelaskan 3 peranan air bagi tumbuhan!
2. Bagaimana mekanisme membuka dan menutupnya stomata pada tumbuhan?
3. Diskripsikan salah satu contoh proses osmosis pada tubuh tumbuhan!

BAB III

KEBUTUHAN HARA BAGI TUMBUHAN

A. Peran Unsur Hara bagi Tumbuhan

Unsur hara merupakan zat esensial bagi tanaman yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan fisiologis tanaman. Unsur hara juga disebut unsur esensial karena setiap unsur hara tersebut harus ada dalam jumlah tertentu bagi tanaman. Unsur hara terdiri atas dua macam berdasarkan kebutuhan tanaman akan unsur tersebut, yaitu unsur hara makro dan unsur hara mikro. (Yusuf, 2009).

Unsur hara makro adalah unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah banyak yaitu besar dari 500 ppm. Unsur hara makro terdiri dari Karbon (C), Hidrogen (H), Oksigen (O), Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K), Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), Belerang (S). sedangkan unsur hara mikro adalah unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang sedikit atau kurang dari 100 ppm. Unsur hara mikro terdiri dari Besi (Fe), Mangan (Mn), Boron (B), Mo, Tembaga (Cu), Seng (Zn) dan Klor (Cl). (Ardi, 2007).

Ketersediaan unsur hara di dalam tanah secara umum dibagi kepada dua, yaitu:

1. Bentuk senyawa kompleks yang sukar larut
2. Bentuk sederhana dan mudah tersedia bagi tanaman.

Bentuk kimia unsur hara dibagi kepada dua bentuk, yaitu :

1. Bentuk Organik, yaitu unsur hara yang terdapat dalam persenyawaan organik. Unsur C, H, O, N, P, S kebanyakan terdapat dalam bentuk ini.
2. Bentuk Anorganik. Bentuk ini umumnya terdiri atas tiga status, yaitu :
 - a. Bentuk mineral,
 - b. Bentuk teradsorpsi, dan
 - c. Bentuk tertukarkan atau bentuk larut (ion).

Setiap unsur tersebut memiliki fungsi tersendiri pada pertumbuhan dan perkembangan fisiologis tanaman. Kekurangan atau ketidaksediaan salah satu

unsur hara maka akan terjadi gangguan pada pertumbuhan dan perkembangan fisiologis tanaman tersebut. Hal ini disebabkan karena setiap unsur memiliki fungsi tersendiri dalam proses metabolisme tanaman, maka apabila salah satu fungsi tidak terpenuhi maka semua proses metabolisme tanaman akan terganggu. (Wahono, 2011)

Jika ketersediaan unsur hara esensial kurang dari jumlah yang dibutuhkan tanaman, maka tanaman akan terganggu metabolismenya yang secara visual dapat terlihat dari penyimpangan-penyimpangan pada pertumbuhannya. Gejala kekurangan unsur hara ini dapat berupa pertumbuhan akar, batang atau daun yang terhambat (kerdil) dan klorosis pada berbagai organ tanaman.

Gejala yang ditampakkan tanaman karena kekurangan suatu unsur hara dapat menjadi petunjuk kasar dari fungsi unsur hara yang bersangkutan. Pengetahuan tentang gejala kekurangan masing-masing unsur hara dapat digunakan oleh petani dalam menentukan jenis pupuk yang harus digunakan dan merupakan peringatan bagi petani untuk segera melakukan pemupukan agar tanaman dapat tumbuh normal kembali. Walaupun kekurangan unsur hara dapat menyebabkan gangguan pada fungsi dan pertumbuhan akar, gejala yang umum dilaporkan adalah gejala yang tampak pada bagian tajuk tanaman, karena gejala pada tajuk ini lebih mudah diamati dan memberikan manfaat praktis bagi petani.

Gejala kekurangan suatu unsur hara yang ditampakkan tanaman tidak selalu sama. Gejala tersebut dapat berbeda, tergantung spesies tanaman, tingkat keseriusan masalah, dan fase pertumbuhan tanaman. Di samping itu, tanaman dapat mengalami kekurangan dua unsur hara atau lebih pada saat yang bersamaan, sehingga gejala yang ditampakkan oleh tanaman menjadi lebih kompleks.

Pada dasarnya gejala kekurangan unsur hara tergantung pada 2 hal utama, yakni: (1) fungsi dari unsur hara tersebut dan (2) kemudahan unsur hara tersebut untuk ditranslokasikan dari daun tua ke daun muda. Kemudahan suatu unsur hara untuk ditranslokasikan tergantung pada solubilitas (kelarutan) dari bentuk kimia dari unsur tersebut di dalam jaringan tanaman dan kemudahannya untuk dapat masuk ke dalam pembuluh floem. (Benyamin, 2004)

Dibawah ini disebutkan beberapa unsur menurut fungsi dan jika terjadi kekurangan terhadap unsur tersebut:

1. Nitrogen (N): berfungsi dalam pembentukan klorofil, penyusun asam amino, asam nukleat, protein (plasma maupun enzim), hormon dan bahan organik lainnya. Asimilasi N tidak dapat dipisahkan dengan asimilasi C. Jika terjadi kekurangan terhadap unsur ini, maka pembentukan klorofil menjadi terganggu, kandungan protein menurun, pembentukan antosianin menjadi meningkat dan daun berwarna kekuningan dan akhirnya gugur. Tumbuhan mengambil N dalam bentuk NO_3^- atau NH_4^+ , kecuali tanaman Leguminosae yang mampu melakukan fiksasi N langsung dari udara dengan bantuan bakteri pengambat N. Untuk mengatasi kekurangan N dapat dilakukan dengan pemupukan dengan pupuk buatan atau dengan pupuk hijau (menanam tumbuhan penambat N).
2. Posfor (P): unsur sangat diperlukan dalam penyusunan membran plasma, asam nukleat, senyawa berenergi (ATP, GTP dll), sintesis fosfolipida, Monosakarida P (pada asimilasi C), Nukleoprotein. Jika kekurangan P maka pertumbuhan menjadi terhambat, daun menjadi hijau tua dan pembentukan antosianin meningkat, diferensiasi jaringan terganggu. Lembaran dan tangkai daun menjadi mati dan akhirnya daun rontok. Tumbuhan mengambil P dalam bentuk H_2PO_4 .
3. Kalium (K): K hanya sedikit yang terlarut dalam larutan tanah, terutama terdapat sebagai bentuk yang dapat ditukar karena terjerap dipermukaan partikel tanah. Terdapat dalam bentuk garam anorganik pada jaringan yang sedang tumbuh. Penting untuk katalisator dalam perubahan asam amino menjadi protein. Jika terjadi kekurangan K akan menyebabkan terhambatnya proses fotosintesis dan proses pernapasan menjadi lebih lambat, daun menguning dan pertumbuhan menurun. Jaringan mati di bagian tengah atau tepi daun, batang melemah. Terjadi penurunan kandungan protein sementara kandungan asam amino meningkat.
4. Kalsium (Ca): Di dalam tanah umumnya berada dalam bentuk CaCO_3 yang mudah dilarutkan dengan pemberian CO_2 dalam air. Berguna untuk menguatkan dinding sel karena merupakan komponen penyusun dinding sel dan lamela tengah dalam bentuk Ca-pektat, mengaktifkan pembelahan sel, membantu pengambilan nitrat, mengaktifkan klorofil enzim. Jika kekurangan unsur ini akan menyebabkan

desintegrasi pada ujung batang dan ujung akar; daun muda menjadi abnormal bentuknya (keriting, nekrosis), tangkai daun lemas, pengambilan Mg menjadi meningkat dan dapat menyebabkan sel tanaman mengalami keracunan. Kekurangan Ca dapat digantikan dengan pupuk Ca, supaya kadar Ca dan Mg menjadi seimbang.

5. Magnesium (Mg): Mg berguna untuk pembentukan klorofil, berperan dalam transfort Posfat, mempengaruhi proses pemaasan, mengaktifkan enzim transfosforilase, dehidrogenase, karboksilase. Jika kekurangan Mg menyebabkan klorosis, ujung daun menguning.
6. Belerang (S): Berguna untuk penyusunan asam amino dan pembentukan protein, vitamin (tiamin dan biotin), koenzim A dan minyak atsiri. Diserap dalam bentuk SO_4 dari akar dan SO_2 dari daun. Karena Sulfat adalah asam keras, setelah diserap akan dinetralkan oleh ATP membentuk APS atau PAPS. Gejala yang muncul jika kekurangan S adalah daun menguning.
7. Besi (Fe): Berperan sebagai katalisator sintesis klorofil (bukan penyusun), sebagai koenzim (pembawa O_2) dalam proses pemapasan. Gejala yang muncul jika kekurangan Fe adalah klorosis (daun menguning).
8. Barium (Ba): Merupakan mikro elemen penting yang berfungsi pada translokasi gula dan terlibat dalam perkecambahan polen, metabolisme N, keseimbangan redoks dalam sel. Kekurangan Ba menyebabkan penyakit pucuk.
9. Mangan (Mn): Serupa dengan Fe, berperan mengaktifkan beberapa enzim (dalam pemapasan), katalisator reaksi redoks. Gejala yang muncul jika kekurangan Mn adalah klorosis (daun menguning).
10. Tembaga (Cu): Merupakan unsur yang sangat penting dalam reaksi redoks, penyusun plastosianin dalam kloroplas, stabilisator klorofil, penyusun enzim oksidase (sitokrom oksidase, polifenol oksidase dll). Gejala yang muncul jika kekurangan Cu adalah ujung daun mengisut.
11. Seng (Zn): Berperan mengaktifkan beberapa enzim (aktivator enzim karbonik anhidrase yang mengkatalisis reaksi $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$, enzim amilum sintetase. Sangat dibutuhkan dalam sintesis triptofan (bahan pembentuk IAA) (Indol Asetat Acid, suatu zat pengatur tumbuh yang sangat berperan dalam

pembentukan akar). Kekurangan Zn menyebabkan ujung akar mengalami salah tumbuh dan akhirnya menyebabkan pertumbuhan terhambat.

12. Molybdenum (Mo): Merupakan unsur yang penting dalam mereduksi nitrat (penyusun enzim nitrat reduktase) untuk membentuk bintil akar. Kekurangan Mo menyebabkan pertumbuhan terhambat.
13. Aluminium (Al): Banyak berperan dalam mengkatalisis proses metabolisme, namun Al yang berlebihan akan menyebabkan keracunan pada tumbuhan. Keberadaan Al dalam tanah selama ini diketahui sangat terkait dengan pH tanah yang rendah (bersifat masam).
14. Silikon (Si): Merupakan penyusun tubuh Diatomae, Gramineae.
15. Chlor (Cl): Berperan pada fotosintesis, metabolisme karbohidrat dan mengatur kandungan air sel.

TUGAS:

1. Uraikan 3 peranan tanah bagi tumbuhan!
2. Jelaskan peranan unsur Magnesium (Mg) bagi tumbuhan!
3. Jelaskan peranan unsur Zn (seng) bagi tumbuhan!

BAB IV

FOTOSINTESIS

A. Pengertian Fotosintesis

Fotosintesis adalah suatu proses biokimia yang dilakukan tumbuhan untuk memproduksi energi terpakai (nutrisi) dengan memanfaatkan energi cahaya. Fotosintesis juga dapat diartikan proses penyusunan atau pembentukan dengan menggunakan energi cahaya atau foton. Sumber energi cahaya alami adalah matahari yang memiliki spektrum cahaya infra merah (tidak kelihatan), merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila, ungu dan ultra ungu (Darmawan. 1983).

Hasil dari Fotosintesis adalah glukosa yang dilakukan tumbuhan, alga, dan beberapa jenis bakteri dengan menggunakan zat hara, karbondioksida, dan air serta dibutuhkan bantuan energi cahaya matahari. Hampir semua makhluk hidup bergantung dari energi yang dihasilkan dalam fotosintesis. Akibatnya fotosintesis menjadi sangat penting bagi kehidupan di bumi. Fotosintesis juga berjasa menghasilkan sebagian besar oksigen yang terdapat di atmosfer bumi. Organisme yang menghasilkan energi melalui fotosintesis (photos berarti cahaya) disebut sebagai fototrof. Fotosintesis merupakan salah satu cara asimilasi karbon karena dalam fotosintesis karbon bebas dari CO₂ diikat (difiksasi) menjadi gula sebagai molekul penyimpan energi. Cara lain yang ditempuh organisme untuk mengasimilasi karbon adalah melalui kemosintesis, yang dilakukan oleh sejumlah bakteri belerang (Darmawan. 1983).

Proses fotosintesis berlangsung dengan adanya spektrum cahaya tampak, dari ungu sampai merah, infra merah dan ultra ungu tidak digunakan dalam fotosintesis. Fotosintesis menghasilkan karbohidrat dan oksigen, oksigen sebagai hasil sampingan dari fotosintesis, volumenya dapat diukur, oleh sebab itu untuk mengetahui tingkat produksi fotosintesis adalah dengan mengatur volume oksigen yang dikeluarkan dari tubuh tumbuhan (Darmawan. 1983).

B. Proses Fotosintesis

Pada tumbuhan, organ utama tempat berlangsungnya fotosintesis adalah daun. Namun secara umum, semua sel yang memiliki kloroplas berpotensi untuk melangsungkan fotosintesis. Di organel inilah tempat berlangsungnya fotosintesis, tepatnya pada bagian stroma. Hasil fotosintesis disebut fotosintat, biasanya dikirim ke jaringan-jaringan terdekat terlebih dahulu. Pada dasarnya, rangkaian reaksi fotosintesis dapat dibagi menjadi dua bagian utama: reaksi terang (karena memerlukan cahaya) dan reaksi gelap (tidak memerlukan cahaya tetapi memerlukan karbon dioksida) (Campbell, 2002).

Reaksi terang terjadi pada grana (tunggal:granum), sedangkan reaksi gelap terjadi di dalam stroma. Dalam reaksi terang, terjadi konversi energi cahaya menjadi energi kimia dan menghasilkan oksigen (O_2). Sedangkan dalam reaksi gelap terjadi seri reaksi siklik yang membentuk gula dari bahan dasar CO_2 dan energi ATP dan NADPH. Energi yang digunakan dalam reaksi gelap ini diperoleh dari reaksi terang. Pada proses reaksi gelap tidak dibutuhkan cahaya matahari. Reaksi gelap bertujuan untuk mengubah senyawa yang mengandung atom karbon menjadi molekul gula (Campbell, 2002).

Dari semua radiasi matahari yang dipancarkan, hanya panjang gelombang tertentu yang dimanfaatkan tumbuhan untuk proses fotosintesis, yaitu panjang gelombang yang berada pada kisaran cahaya tampak (380-700 nm). Cahaya tampak terbagi atas cahaya merah (610 - 700 nm), hijau kuning (510 - 600 nm), biru (410 - 500 nm) dan violet (< 400 nm). Masing-masing jenis cahaya berbeda pengaruhnya terhadap fotosintesis. Hal ini terkait pada sifat pigmen penangkap cahaya yang bekerja dalam fotosintesis. Pigmen yang terdapat pada membran grana menyerap cahaya yang memiliki panjang gelombang tertentu. Pigmen yang berbeda menyerap cahaya pada panjang gelombang yang berbeda. Kloroplas mengandung beberapa pigmen (Lakitan, 2007).

C. Reaksi-reaksi yang terjadi dalam Proses Fotosintesis

1. Reaksi Terang

Reaksi terang adalah proses untuk menghasilkan ATP dan reduksi NADPH₂. Reaksi ini memerlukan molekul air dan cahaya matahari. Proses diawali dengan penangkapan foton oleh pigmen sebagai antena. Reaksi terang melibatkan dua fotosistem yang saling bekerja sama, yaitu fotosistem I dan II. Fotosistem I (PS I) berisi pusat reaksi P700, yang berarti bahwa fotosistem ini optimal menyerap cahaya pada panjang gelombang 700 nm, sedangkan fotosistem II (PS II) berisi pusat reaksi P680 dan optimal menyerap cahaya pada panjang gelombang 680 nm (Salisbury, 1995).

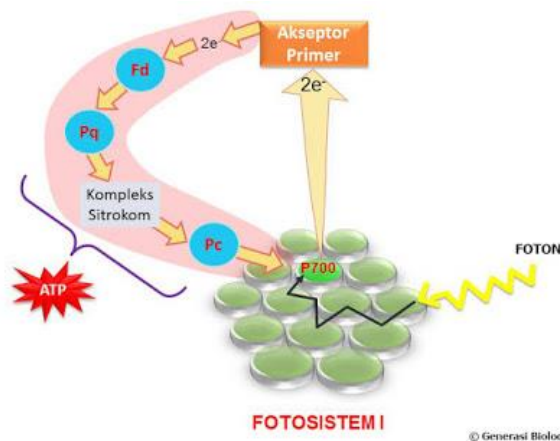
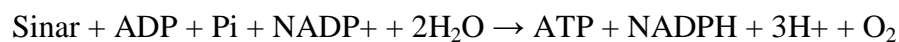
Mekanisme reaksi terang diawali dengan tahap dimana fotosistem II menyerap cahaya matahari sehingga elektron klorofil pada PS II tereksitasi dan menyebabkan muatan menjadi tidak stabil. Untuk menstabilkan kembali, PS II akan mengambil elektron dari molekul H₂O yang ada disekitarnya. Molekul air akan dipecahkan oleh ion mangan (Mn) yang bertindak sebagai enzim. Hal ini akan mengakibatkan pelepasan H⁺ di lumen tilakoid. Dengan menggunakan elektron dari air, selanjutnya PS II akan mereduksi plastokuinon (PQ) membentuk PQH₂. Plastokuinon merupakan molekul kuinon yang terdapat pada membran lipid bilayer tilakoid. Plastokuinon ini akan mengirimkan elektron dari PS II ke suatu pompa H⁺ yang disebut sitokrom b6-f kompleks (Salisbury, 1995).

Sitokrom b6-f kompleks berfungsi untuk membawa elektron dari PS II ke PS I dengan mengoksidasi PQH₂ dan mereduksi protein kecil yang sangat mudah bergerak dan mengandung tembaga, yang dinamakan plastosianin (PC). Kejadian ini juga menyebabkan terjadinya pompa H⁺ dari stroma ke membran tilakoid.

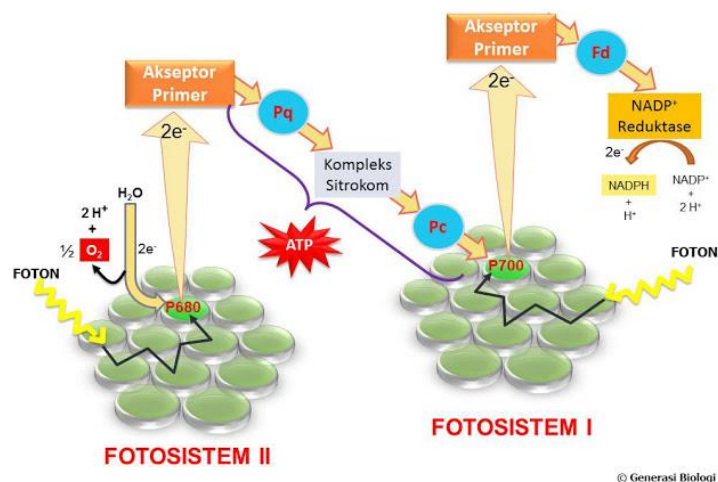
Elektron dari sitokrom b6-f kompleks akan diterima oleh fotosistem I. Fotosistem ini menyerap energi cahaya terpisah dari PS II, yang menerima elektron yang berasal dari H₂O melalui kompleks inti PS II lebih dahulu. Sebagai sistem yang bergantung pada cahaya, PS I berfungsi mengoksidasi plastosianin tereduksi dan memindahkan elektron ke protein Fe-S larut yang disebut feredoksin (Lakitan, 2007).

Selanjutnya elektron dari feredoksin digunakan dalam tahap akhir pengangkutan elektron untuk mereduksi NADP⁺ dan membentuk NADPH. Reaksi ini dikatalisis dalam stroma oleh enzim feredoksin NADP⁺ reduktase. Ion

H⁺ yang telah dipompa ke dalam membran tilakoid akan masuk ke dalam ATP sintase. ATP sintase akan menggandengkan pembentukan ATP dengan pengangkutan elektron dan H⁺ melintasi membran tilakoid. Masuknya H⁺ pada ATP sintase akan membuat ATP sintase bekerja mengubah ADP dan fosfat anorganik (Pi) menjadi ATP. Reaksi keseluruhan yang terjadi pada reaksi terang adalah sebagai berikut:



Gambar 4.1 Aliran Fotofosforilasi Siklik.



Gambar 4.2 Aliran Fotofosforilasi Non Siklik.

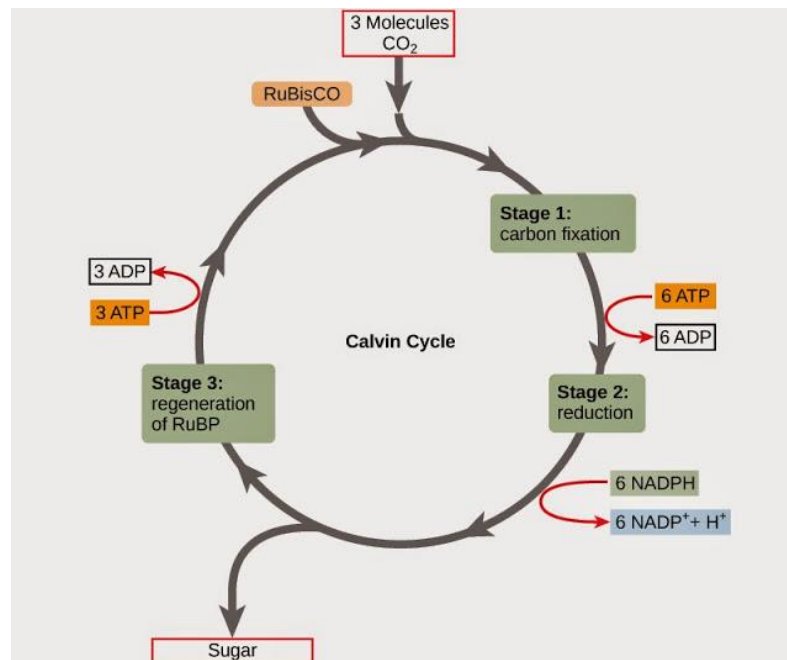
(Sumber: <https://generasibiologi.com/2017/07/gambar-mekanisme-proses-fotosintesis.html>)

2. Reaksi Gelap

Reaksi gelap pada tumbuhan dapat terjadi melalui dua jalur, yaitu siklus Calvin-Benson dan siklus Hatch-Slack. Pada siklus Calvin-Benson tumbuhan mengubah senyawa ribulosa 1,5 bisfosfat menjadi senyawa dengan jumlah atom karbon tiga yaitu senyawa 3-phosphogliserat. Oleh karena itulah tumbuhan yang menjalankan reaksi gelap melalui jalur ini dinamakan tumbuhan C-3. Penambahan CO_2 sebagai sumber karbon pada tumbuhan ini dibantu oleh enzim rubisco. Tumbuhan yang reaksi gelapnya mengikuti jalur Hatch-Slack disebut tumbuhan C-4 karena senyawa yang terbentuk setelah penambahan CO_2 adalah oksaloasetat yang memiliki empat atom karbon. Enzim yang berperan adalah phosphoenolpyruvate karboksilase (Lakitan, 2007).

Diagram ini menelusuri atom karbon yang mengikuti siklus Calvin. Untuk setiap tiga molekul O_2 yang memasuki siklus Calvin, hasil bersihnya adalah satu molekul gliseraldehid-3-fosfat (G3P), yaitu suatu gula yang berkarbon 3. Untuk setiap G3P yang disintesis, siklus Calvin menghabiskan 9 molekul ATP dan 6 molekul NADPH. Reaksi terang melanjutkan siklus Calvin dengan menghasilkan kembali ATP dan NADPH. Dalam hubungannya dengan pembentukan karbohidrat dalam proses fotosintesis, karbohidrat ini merupakan hasil kerjasama antara reaksi terang dengan siklus Calvin (Lehninger, 1982).

Didalam kloroplas, membran talakoid adalah tempat berlangsungnya reaksi terang, sedangkan siklus Calvin berlangsung didalam stroma. Reaksi terang menggunakan energi matahari untuk membentuk ATP dan NADPH, yang masing-masing berfungsi sebagai energi kimia dan tenaga pereduksi didalam siklus Calvin. Siklus Calvin CO_2 menjadi molekul organik, yang dikonversikan menjadi gula (Lehninger, 1982).



Gambar 4.3 Mekanisme Reaksi Gelap

(Sumber: <https://www.edubio.info/2015/05/reaksi-gelap-fotosintesis-siklus-calvin.html>)

D. Reaksi Fotosintesis pada Tanaman C₃, C₄ dan CAM

Fotosintesis yang terjadi pada tanaman C₃, C₄ dan CAM berbeda prosesnya, seperti berikut :

1. Tumbuhan C₃

Tanaman C₃ lebih adaptif pada kondisi kandungan CO_2 atmosfer tinggi. Sebagian besar tanaman pertanian, seperti gandum, kentang, kedelai, kacang-kacangan, dan kapas merupakan tanaman dari kelompok C₃. Pada tanaman C₃, enzim yang menyatukan CO_2 dengan RuBP (RuBP merupakan substrat untuk pembentukan karbohidrat dalam proses fotosintesis) dalam proses awal asimilasi, juga dapat mengikat O_2 pada saat yang bersamaan untuk proses fotorespirasi, fotorespirasi adalah respirasi, proses pembongkaran karbohidrat untuk menghasilkan energi dan hasil samping, yang terjadi pada siang hari. Jika konsentrasi CO_2 di atmosfer ditingkatkan, hasil dari kompetisi antara CO_2 dan

O₂ akan lebih menguntungkan CO₂, sehingga fotorespirasi terhambat dan asimilasi akan bertambah besar (Kimbal, 1994).

Tumbuhan C₃ tumbuh dengan karbon fiksasi C₃ biasanya tumbuh dengan baik di area dimana intensitas sinar matahari cenderung sedang, temperatur sedang dan dengan konsentrasi CO₂ sekitar 200 ppm atau lebih tinggi, dan juga dengan air tanah yang berlimpah. Tumbuhan C₃ harus berada dalam area dengan konsentrasi gas karbondioksida yang tinggi sebab Rubisco sering menyertakan molekul oksigen ke dalam Rubp sebagai pengganti molekul karbondioksida. Konsentrasi gas karbondioksida yang tinggi menurunkan kesempatan Rubisco untuk menyertakan molekul oksigen. Karena bila ada molekul oksigen maka Rubp akan terpecah menjadi molekul 3-karbon yang tinggal dalam siklus Calvin, dan 2 molekul glikolat akan dioksidasi dengan adanya oksigen, menjadi karbondioksida yang akan menghabiskan energi. Pada tumbuhan C₃, CO₂ hanya difiksasi RuBP oleh karboksilase RuBP. Karboksilase RuBP hanya bekerja apabila CO₂ jumlahnya berlimpah. Contoh tanaman C₃ antara lain: kedelai, kacang tanah, kentang, dan lain-lain (Rachmadiarti, 2007).

2. Tumbuhan C₄

Tumbuhan C₄ dan CAM lebih adaptif di daerah panas dan kering. Pada tanaman C₄, CO₂ diikat oleh PEP (enzim pengikat CO₂ pada tanaman C₄) yang tidak dapat mengikat O₂ sehingga tidak terjadi kompetisi antara CO₂ dan O₂. Lokasi terjadinya asosiasi awal ini adalah di sel-sel mesofil (sekelompok sel-sel yang mempunyai klorofil yang terletak di bawah sel-sel epidermis daun). CO₂ yang sudah terikat oleh PEP kemudian ditransfer ke sel-sel “bundle sheath” (sekelompok sel-sel di sekitar xylem dan floem) dimana kemudian pengikatan dengan RuBP terjadi. Karena tingginya konsentrasi CO₂ pada sel-sel bundle sheath ini, maka O₂ tidak mendapat kesempatan untuk bereaksi dengan RuBP, sehingga fotorespirasi sangat kecil and G sangat rendah, PEP mempunyai daya ikat yang tinggi terhadap CO₂, sehingga reaksi fotosintesis terhadap CO₂ di bawah 100 m mol m⁻² s⁻¹ sangat tinggi. Laju asimilasi tanaman C₄ hanya bertambah sedikit dengan meningkatnya CO₂. Sehingga, dengan meningkatnya CO₂ di atmosfer,

tanaman C3 akan lebih beruntung dari tanaman C4 dalam hal pemanfaatan CO₂ yang berlebihan. Contoh tanaman C4 adalah jagung, sorgum dan tebu (Santosa, 1990).

Tetapi pada sintesis C4, enzim karboksilase PEP memfiksasi CO₂ pada akseptor karbon lain yaitu PEP. Karboksilase PEP memiliki daya ikat yang lebih tinggi terhadap CO₂ daripada karboksilase RuBP. Oleh karena itu, tingkat CO₂ menjadi sangat rendah pada tumbuhan C4, jauh lebih rendah daripada konsentrasi udara normal dan CO₂ masih dapat terfiksasi ke PEP oleh enzim karboksilase PEP. Sistem perangkap C4 bekerja pada konsentrasi CO₂ yang jauh lebih rendah. Tumbuhan C4 dinamakan demikian karena tumbuhan itu mendahului siklus Calvin yang menghasilkan asam berkarbon -4 sebagai hasil pertama fiksasi CO₂ dan yang memfiksasi CO₂ menjadi APG di sebut spesies C3, sebagian spesies C4 adalah monokotil (tebu, jagung, dll). Reaksi dimana CO₂ dikonfersi menjadi asam malat atau asam aspartat adalah melalui penggabugannya dengan fosfoenolpiruvat (PEP) untuk membentuk oksaloasetat dan Pi. Enzim PEP-karboksilase ditemukan pada setiap sel tumbuhan yang hidup dan enzim ini yang berperan dalam memacu fiksasi CO₂ pada tumbuhan C4. enzim PEP-karboksilase terkandung dalam jumlah yang banyak pada daun tumbuhan C4, pada daun tumbuhan C-3 dan pada akar, buah-buah dan sel – sel tanpa klorofil lainnya ditemukan suatu isozim dari PEP-karboksilase (Santosa, 1990).

Reaksi untuk mengkonversi oksaloasetat menjadi malat dirangsang oleh enzim malat dehidrogenase dengan kebutuhan elektronnya disediakan oleh NADPH. Oksaloasetat harus masuk kedalam kloroplas untuk direduksi menjadi malat. Pembentukan aspartat dari malat terjadi didalam sitosol dan membutuhkan asam amino lain sebagai sumber gugus aminonya. Proses ini disebut transaminasi. Sel seludang berkas pembuluh disusun menjadi kemasan yang sangat padat disekitar berkas pembuluh. Diantara seludang-berkas pembuluh dan permukaan daun terdapat sel mesofil yang tersusun agak longgar. Siklus calvin didahului oleh masuknya CO₂ ke dalam senyawa organik dalam mesofil. Langkah pertama ialah penambahan CO₂ pada fosfoenolpiruvat (PEP) untuk membentuk produk berkarbon empat yaitu oksaloasetat, Enzim PEP karboksilase

menambahkan CO₂ pada PEP. Karbondioksida difiksasi dalam sel mesofil oleh enzim PEP karboksilase. Senyawa berkarbon-empat-malat, dalam hal ini menyalurkan atom CO₂ kedalam sel seludang-berkas pembuluh, melalui plasmodesmata. Dalam sel seludang berkas pembuluh, senyawa berkarbon empat melepaskan CO₂ yang diasimilasi ulang kedalam materi organik oleh rubisco dan siklus Calvin. Dengan cara ini, fotosintesis C₄ meminimumkan fotorespirasi dan meningkatkan produksi gula. Adaptasi ini sangat bermanfaat dalam daerah panas dengan cahaya matahari yang banyak, dan dilingkungan seperti inilah tumbuhan C₄ sering muncul dan tumbuh subur (Santosa, 1990).

3. Tumbuhan CAM

Tumbuhan C₄ dan CAM lebih adaptif di daerah panas dan kering. Crassulacean acid metabolism (CAM), tanaman ini mengambil CO₂ pada malam hari, dan menggunakannya untuk fotosintesis pada siang harinya. Meski tidak mengeluarkan oksigen di malam hari, namun dengan memakan CO₂ yang beredar, tanaman ini sudah membantu kita semua menghirup udara bersih, lebih sehat, menyejukkan dan menyegarkan bumi, tempat tinggal dan ruangan. Jadi, cocok buat taruh di ruang tidur misalnya. Sayang, hanya sekitar 5% tanaman jenis ini. Tumbuhan CAM yang dapat mudah ditemukan adalah nanas, kaktus, dan bunga lili (Campbell, 2002).

Tanaman CAM, pada kelompok ini penambahan CO₂ seperti pada tanaman C₄, tetapi dilakukan pada malam hari dan dibentuk senyawa dengan gugus 4-C. Pada hari berikutnya (siang hari) pada saat stomata dalam keadaan tertutup terjadi dekarboksilase senyawa C₄ tersebut dan penambahan kembali CO₂ melalui kegiatan RuBP karboksilase. Jadi tanaman CAM mempunyai beberapa persamaan dengan kelompok C₄ yaitu dengan adanya dua tingkat sistem penambahan CO₂. Pada C₄ terdapat pemisahan ruang sedangkan pada CAM pemisahannya bersifat sementara. Termasuk golongan CAM adalah Crassulaceae, Cactaceae, Bromeliaceae, Liliaceae, Agaveceae, Ananas comosus, dan Oncidium lanceanum. Beberapa tanaman CAM dapat beralih ke jalur C₃ bila keadaan lingkungan lebih baik. Beberapa spesies tumbuhan mempunyai sifat yang berbeda dengan

kebanyakan tumbuhan lainnya, yakni Tumbuhan ini membuka stomatanya pada malam hari dan menutupnya pada siang hari. Kelompok tumbuhan ini umumnya adalah tumbuhan jenis sukulen yang tumbuh di daerah kering. Dengan menutup stomata pada siang hari membantu tumbuhan ini menghemat air, dapat mengurangi laju transpirasinya, sehingga lebih mampu beradaptasi pada daerah kering tersebut (Lakitan, 2012).

Selama malam hari, ketika stomata tumbuhan itu terbuka, tumbuhan ini mengambil CO_2 dan memasukkannya ke dalam berbagai asam organik. Cara fiksasi karbon ini disebut metabolisme asam krasulase, atau crassulacean acid metabolism (CAM). Dinamakan demikian karena metabolisme ini pertama kali diteliti pada tumbuhan dari famili crassulaceae. Termasuk golongan CAM adalah Crassulaceae, Cactaceae, Bromeliaceae, Liliaceae, Agaveceae, Ananas comosus, dan Oncidium lanceanum. Jalur CAM serupa dengan jalur C_4 dalam hal karbon dioksida terlebih dahulu dimasukkan ke dalam senyawa organik intermediet sebelum karbon dioksida ini memasuki siklus Calvin. Perbedaannya ialah bahwa pada tumbuhan C_4 , kedua langkah ini terjadi pada ruang yang terpisah. Langkah ini dipisahkan pada dua jenis sel. Pada tumbuhan CAM, kedua langkah dipisahkan untuk sementara. Fiksasi karbon terjadi pada malam hari, dan siklus Calvin berlangsung selama siang hari (Santosa, 1990).

TUGAS:

1. Uraikan secara singkat hubungan khas proses fotosintesis dengan kehidupan makhluk hidup!
2. Uraikan mekanisme proses reaksi terang dalam fotosintesis!
3. Uraikan 3 faktor yang mempengaruhi proses fotosintesis!

BAB V

RESPIRASI TUMBUHAN

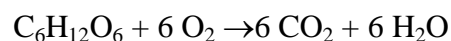
A. Pengertian Respirasi

Respirasi adalah proses penguraian bahan makanan yang menghasilkan energi. Respirasi dilakukan oleh semua penyusun tubuh, baik sel-sel tumbuhan maupun sel hewan dan manusia. Respirasi dilakukan baik pada siang maupun malam hari. Sebagaimana kita ketahui dalam semua aktivitas makhluk hidup memerlukan energi begitu juga dengan tumbuhan. Respirasi terjadi pada seluruh bagian tubuh tumbuhan, pada tumbuhan tingkat tinggi respirasi terjadi baik pada akar, batang maupun daun dan secara kimia pada respirasi aerobik pada karbohidrat (glukosa) adalah kebalikan fotosintesis. Pada respirasi pembakaran glukosa oleh oksigen kan menghasilkan energi karena semua bagian tumbuhan tersusun atas jaringan dan jaringan tersusun atas sel, maka respirasi terjadi pada sel (Campbell, 2002).

Tumbuhan hijau bernapas dengan mengambil oksigen dari lingkungan, tidak semua tumbuhan bernapas dengan menggunakan oksigen. Tumbuhan tak berklorofil benapas tanpa memerlukan oksigen. Tujuan proses pernapasan, yaitu untuk memperoleh energi. Pada peristiwa bernapas terjadi pelepasan energi. Tumbuhan yang bernapas secara anaerob mendapatkan energi dengan cara menguraikan bahan-bahan tertentu dimana mereka hidup. Dalam proses pernapasan aerob / anaerob. akan dihasilkan gas karbon dioksida dan uap air. Gas dan uap air tersebut dikeluarkan dari tubuh. Oksigen diperlukan dan karbon dioksida yang dihasilkan masuk dan keluar dari tubuh secara difusi. Gas-gas tersebut masuk dan keluar melalui stomata yang ada pada permukaan daun dan inti sel yang ditemukan pada kulit batang pegangan. Akar yang berada dalam tanah juga dapat melakukan proses keluar masuknya gas. Tumbuhan yang hidup di daerah rawa/berlumpur mempunyai akar yang mencuat keluar dari tanah. Akar ini disebut akar napas. Kandungan katalis disebut juga enzim, enzim sangat

penting untuk siklus reaksi respirasi (sebaik-baiknya proses respirasi). Beberapa reaksi kimia membolehkan mencampur dengan fungsi dari enzim atau mengkombinasikan sisi aktifnya. Penggunaan ini akan dapat dilihat hasilnya pada inhibitor dari aktivitas enzim (Kimball, 1983).

Mahluk hidup memerlukan respirasi untuk mempertahankan hidupnya, begitu pula pada tumbuhan. Respirasi pada tumbuhan menyangkut proses pembebasan energi kimiawi menjadi energi yang diperlukan untuk aktivitas hidup tumbuhan. Pada siang hari, laju proses fotosintesis yang dilakukan tumbuhan sepuluh kali lebih besar dari laju respirasi. Hal itu menyebabkan seluruh karbondioksida yang dihasilkan dari respirasi akan digunakan untuk melakukan proses fotosintesis. Respirasi yang dilakukan tumbuhan menggunakan sebagian oksigen yang dihasilkan dari proses fotosintesis, sisanya akan berdifusi ke udara melalui daun. Reaksi yang terjadi pada proses respirasi sebagai berikut :



Reaksi penguraian glukosa sampai menjadi H_2O , CO_2 dan energi melalui tiga tahap, yaitu glikolisis, daur Krebs, dan transpor elektron respirasi. Glikolisis merupakan peristiwa perubahan glukosa menjadi 2 molekul asam piruvat, 2 molekul NADH yang berfungsi sebagai sumber elektron berenergi tinggi dan 2 molekul ATP untuk setiap molekul glukosa. Daurl Krebs (daur trikarboksilat) atau daur asam sitrat merupakan penguraian asam piruvat secara aerob menjadi CO_2 dan H_2O serta energi kimia. Reaksi ini terjadi disertai dengan rantai transportasi elektron respiratori. Produk sampingan respirasi tersebut pada akhirnya dibuang ke luar tubuh melalui stomata pada tumbuhan. Respirasi banyak memberikan manfaat bagi tumbuhan. Proses respirasi ini menghasilkan senyawa-senyawa yang penting sebagai pembentuk tubuh. Senyawa-senyawa tersebut meliputi asam amino untuk protein, nukleotida untuk asam nukleat, dan karbon untuk pigmen profirin (seperti klorofil dan sitokrom), lemak, sterol, karotenoid, pigmen flavonoid seperti antosianin, dan senyawa aromatik tertentu lainnya, seperti lignin. Sedangkan energi yang ditangkap dari proses oksidasi dalam proses respirasi

dapat digunakan untuk mensintesis molekul lain yang dibutuhkan untuk pertumbuhan.

Laju respirasi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yang dijelaskan sebagai berikut :

a. Ketersediaan substrat

Tumbuhan dengan kandungan substrat yang rendah akan melakukan respirasi dengan laju yang rendah pula. Demikian sebaliknya bila substrat yang tersedia cukup banyak maka laju respirasi akan meningkat.

b. Ketersediaan Oksigen

Ketersediaan oksigen akan mempengaruhi laju respirasi, namun besarnya pengaruh tersebut berbeda bagi masing-masing spesies. Bahkan, pengaruh oksigen berbeda antara organ satu dengan yang lain pada tumbuhan yang sama.

c. Suhu

Umumnya, laju reaksi respirasi akan meningkat untuk setiap kenaikan suhu sebesar 10°C. Namun, hal ini tergantung pada masing-masing spesies.

d. Tipe dan umur tumbuhan

Masing-masing spesies tumbuhan memiliki perbedaan metabolisme sehingga kebutuhan tumbuhan untuk berespirasi akan berbeda pada masing-masing spesies. Tumbuhan muda menunjukkan laju respirasi yang lebih tinggi dibandingkan tumbuhan yang tua (Ross, 1995).

Ditinjau dari kebutuhannya akan oksigen, respirasi dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu :

1. Respirasi Aerobik (aerob)

Respirasi aerob yaitu respirasi yang menggunakan oksigen bebas untuk mendapatkan energi. Persamaan reaksi proses respirasi aerob secara sederhana dapat dituliskan :



Dalam kenyataan reaksi yang terjadi tidak sesederhana itu. Banyak tahapan yang terjadi dari awal hingga terbentuknya energi.

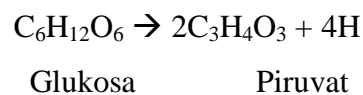
Proses utama respirasi adalah mobilitas senyawa organik dan oksidasi senyawa-senyawa tersebut secara terkendali untuk membebaskan energi bagi pemeliharaan dan perkembangan tumbuhan. Mula-mula akan kita perhatikan reaksi keseluruhan dari oksidasi satu molekul heksosa berikut ini:



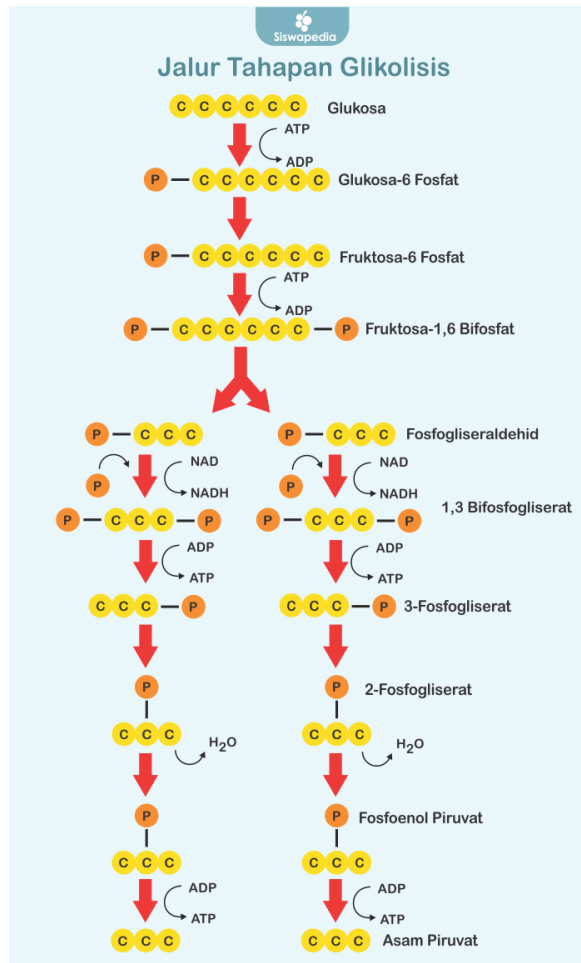
Reaksi respirasi (disebut juga reaksi biologis) suatu karbohidrat, misalnya glukosa berlangsung dalam 4 tahapan yaitu :

1. Glikolisis

Merupakan serangkaian reaksi yang menguraikan satu molekul glukosa menjadi dua molekul asam piruvat. Jalur reaksi ini disebut juga jalur Embden-Meyerhoff Parnas (EMP) (dinamakan menurut tiga peneliti utama) jalur ini juga merupakan dasar dari respirasi anaerobic atau fermentasi. Persamaan reaksi keseluruhan glikolisis dapat dituliskan sebagai berikut:



Dari persamaan terlihat bahwa satu molekul glukosa diubah menjadi dua molekul asam piruvat. Namun, glikolisis bukan merupakan reaksi satu tahap, tetapi adalah serangkaian reaksi yang erat kaitannya yang mengarah ke pembentukan piruvat. Reaksi glikolisis berlangsung dalam sitoplasma dan tidak memerlukan adanya oksigen. Glikolisis dapat dibagi dalam dua fase utama yaitu fase persiapan dan fase oksidasi. Pada fase persiapan, glukosa diubah menjadi dua senyawa tiga karbon dan pada fase oksidasi kedua senyawa tiga karbon itu selanjutnya diubah menjadi asam piruvat.



Gambar 5.1 Glikolisis, perubahan glukosa menjadi asam piruvat

(Sumber: <https://www.siswapedia.com/proses-dan-tahapan-glikolisis/>)

2. Dekarboksilasi Oksidatif Piruvat.

Asam piruvat yaitu suatu senyawa 3C diubah menjadi senyawa 2C (Asetil-koA) dengan melepaskan CO₂. Telah kita lihat bahwa penguraian karbohidrat pada kondisi anaerob berlangsung melalui glikolisis dan dihasilkan asam piruvat. Tetapi, jika tersedia cukup oksigen terjadi dekarboksilasi oksidatif dari asam piruvat membentuk asetil- KoA. Reaksi ini sangat kompleks dan memerlukan beberapa kofaktor dari suatu kompleks enzim. Kofaktor yang diperlukan untuk keberhasilan pembentukan asetil-SKoA adalah tiamin pirofosfat (TPP), NAD, koenzimA (KoA-SH) dan asam lipoat.

Pembentukan asetil-SKoA dari asam piruvat berlangsung dalam 4 langkah reaksi, yaitu antara lain:

1. Pembentukan suatu kompleks antara TPP dan piruvat diikuti dengan dekarboksilasi asam piruvat.
2. Unit asetilaldehid yang tertinggal setelah dekarboksilasi, bereaksi dengan asam lipoat membentuk kompleks asetil asam lipoat. Dalam reaksi ini asam lipoat tereduksi dan aldehid dioksidasi menjadi asam. Asam yang baru terbentuk itu membentuk suatu tioester dengan asam lipoat.
3. Pelepasan gugus asetil dari asam lipoat ke koenzim A-SH, hasil reaksinya adalah asetil KoA dan asam lipoat tereduksi.
4. Regenerasi asam lipoat teroksidasi dengan memindahkan elektron dari asam lipoat tereduksi ke NAD. Reaksi terakhir ini penting agar suplai asam lipoat teroksidasi secara bersinambungan selalu tersedia untuk pembentukan asetil S-KoA dari asam piruvat. Selain itu, dua elektron yang dipindahkan ke NAD membentuk NADH₂ akan diteruskan ke rantai respiratoris (sistem angkutan elektron) akan menghasilkan tiga molekul ATP.

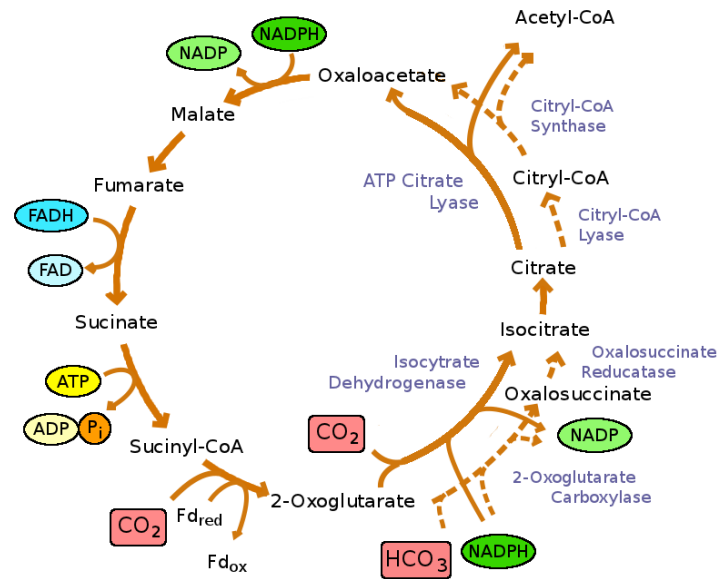
Dekarboksilasi oksidatif asam piruvat menjadi asetil-SKoA ini berlangsung dalam mitokondria.

3. Daur Sitrat

Senyawa 2C yang dihasilkan pada tahap dekarboksilasi oksidatif piruvat diuraikan menjadi CO₂. Daur ini dinamakan daur asam sitrat karena senyawa C₆ yang pertama kali dibentuk dalam daur ini adalah asam sitrat. Daur ini juga dikenal dengan nama daur krebs, menurut Sir Hans Krebs yang bersama-sama ilmuwan-ilmuwan lain menguraikan jalur ini.

Nama lain daur ini ialah daur asam trikarboksilat karena dalam daur ini ikut serta asam-asam dengan tiga gugus karboksil. Glikolisis dan fermentase adalah merupakan proses yang tidak relatif dalam melepaskan energi. Tetapi, pada keadaan aerob asam piruvat hasil akhir glikolisis dapat mengalami dekarboksilasi oksidatif dengan KoAH membentuk asetil KoA. Asetil KoA

merupakan rantai penghubung antara glikolisis dan siklus Krebs. Melalui asosiasi sistem pengangkutan elektron oksidasi dari siklus Krebs dapat menghasilkan 24 ATP. Reaksi siklus Krebs dan sistem pengangkutan elektron memerlukan oksigen dan berlangsung dalam mitokondria.



Gambar 5.2 Daur asam sitrat (daur krebs)

(Sumber: https://id.wikipedia.org/wiki/Siklus_Krebs_terbalik)

1. Pembentukan Asa Sitrat

Reaksi pertama siklus Krebs adalah kondensasi asetil SKoA dengan asam oksaloasetat membentuk asa, sitrat dan membebaskan koenzim A dengan bantuan enzim kondensasi.

2. Regenerasi Asam Oksaloasetat

Reaksi yang melibatkan 4 oksidasi dan 3 molekul H₂O (satu molekul digunakan dalam reaksi kondensasi) asam oksaloasetat diregenerasi dari asam sitrat. Dalam proses tersebut dihasilkan 2 molekul CO₂ dan 8 molekul H.

4. Oksidasi Terminal dalam Rantai Respiratoris.

Hydrogen yang dihasilkan oleh substrat pada tahap (1) hingga (3) akhirnya berkombinasi dengan air. Agar hal ini dapat berlangsung, terjadi suatu angkutan elektron sepanjang suatu rantai sistem redoks, yaitu suatu sistem angkutan atau transpor elektron. Energi yang dibebaskan oleh angkutan elektron ini digunakan untuk pembentukan ATP.

Pembentukan ATP dalam sistem angkutan elektron (rantai respiratoris) dikenal juga sebagai fosforilasi oksidatif biologis. Telah dinyatakan sebelumnya bahwa proses keseluruhan oksidasi biologis mempunyai dua fungsi yaitu menghasilkan energi dan menyediakan senyawa antara untuk sintesis. Jika dihitung jumlah ATP yang dihasilkan oksidasi biologis itu, dengan bahan awal oksidasi adalah satu molekul glukosa, maka diperoleh 38 molekul ATP.

2. Respirasi Anaerobik (anaerob)

Respirasi anaerobik adalah reaksi pemecahan karbohidrat untuk mendapatkan energi tanpa menggunakan oksigen. Respirasi anaerobik menggunakan senyawa tertentu misalnya asam fosfoenol piruvat atau asetaldehid, sehingga pengikat hidrogen dan membentuk asam laktat atau alkohol. Respirasi anaerobik terjadi pada jaringan yang kekurangan oksigen, akan tumbuhan yang terendam air, biji-biji yang kulit tebal yang sulit ditembus oksigen, sel-sel ragi dan bakteri anaerobik. Bahan baku respirasi anaerobik pada peragian adalah glukosa. Selain glukosa, bahan baku seperti fruktosa, galaktosa dan malosa juga dapat diubah menjadi alkohol. Hasil akhirnya adalah alkohol, karbon dioksida dan energi. Glukosa tidak terurai lengkap menjadi air dan karbondioksida, energi yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan respirasi aerobik. Reaksinya :



Dari persamaan reaksi tersebut terlihat bahwa oksigen tidak diperlukan. Bahkan bakteri anaerobik seperti klostidium tetani (penyebab tetanus) tidak dapat

hidup jika berhubungan dengan udara bebas. Infeksi tetanus dapat terjadi jika luka tertutup sehingga member kemungkinan bakteri tambah subur (Lukman, 1997).

B. Respirasi Pada Tumbuhan Tingkat Tinggi

Respirasi pada tumbuhan tingkat tinggi berlangsung secara aerob, pada pernafasan ini terjadi proses pembebasan energi dari sari makanan di dalam sel tubuh melalui proses oksidasi biologis, Oksidasi biologis adalah suatu reaksi antara sari makanan dengan oksigen yang menghasilkan karbon dioksida (CO_2), air (H_2O) dan energi. Reaksi kimia ini merupakan reaksi enzimatis, enzim berperan sebagai katalisator (pemercepat proses reaksi).

Energi yang dihasilkan dari pernafasan digunakan oleh tumbuhan untuk mewartakan berbagai kegiatan hidupnya, misalnya untuk pertumbuhan dan melakukan kegiatan di dalam hidupnya, misalnya untuk pertumbuhan,, pembentukan protein mengangkut mineral dari dalam tanah, berkembang biak,serta melakukan proses fotosintesis.

C. Respirasi Pada Tumbuhan Tingkat Rendah

Respirasi pada tumbuhan tingkat rendah ada yang aerob dan ada yang anaerob. Respirasi anaerob disebut juga dengan fermentasi (proses pengubahan senyawa utama menjadi senyawa bentuk lain dengan bantuan enzim), misalnya proses pembentukan alkohol dari glukosa dengan bantuan jamur ragi (*Saccharomyces*) seperti pembuatan tempe (Wilskins, 1993).

TUGAS:

1. Tuliskan pengertian respirasi!
2. Mengapa energi yang diperoleh dari respirasi aerob lebih besar dari respirasi anaerob? Jelaskan secara ringkas!
3. Buatlah skema reaksi pada tahap glikolisis!

BAB VI

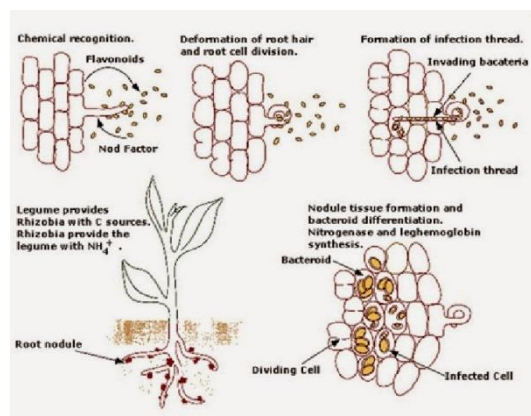
FIKSASI DAN METABOLISME NITROGEN

A. Fiksasi Nitrogen

Fiksasi nitrogen merupakan proses yang menggabungkan nitrogen bebas dengan unsur lain secara kimia yang disebut *penambatan nitrogen*. Salah satu caranya ialah melalui kegiatan organisme bersimbiosis yang dapat mengubah nitrogen dari atmosfer menjadi amonia (kebalikan dari denitrifikasi).

Pemfiksasi N_2 utama adalah bakteri tanah yang hidup bebas, Cyanobakteri (ganggang hijau-biru) yang bebas hidup pada permukaan tanah atau dalam air. Cyanobakteri yang bersimbiosis dengan jamur pada lumut kerak, paku, lumut hati, lumut jantung, serta bakteri atau mikroba lain yang berasosiasi secara simbiosis dengan akar terutama tumbuhan polong-polongan. Beberapa spesies tumbuhan bukan polong-polongan yang melakukan fiksasi N_2 pada akarnya telah diidentifikasi.

Pada polong-polongan yang berperan adalah spesies bakteri dari genus *Rhizobium*. *Rhizobium* adalah bakteri yang bertahan sebagai saprofit dalam tanah hingga menginfeksi akar rambut atau merusak sel epidermis. Respon rambut akar oleh invasi *Rhizobium* biasanya adalah mengelilingi bakteri dengan struktur seperti benang yang disebut benang infeksi, namun pada beberapa polong-polongan benang tersebut tidak terdeteksi.



Gambar 6.1 Perkembangan bintil akar dalam tanaman kacang kedelai. a dan b bakteri *Rhizobium* yang mengadakan kontak dengan akar rambut yang peka, membelah dan setelah berhasil menginfeksi rambut akar, menyebabkan rambut akar melengkung. c. benang infeksi yang mengandung bakteri yang sedang membelah, termodifikasi dan tampak sebagai bakteroid. d bintil matang. (Sumber: Purwaningsih Sri, 2005).

Jika polong-polongan ditumbuhkan pada tanah yang steril, tumbuhan tersebut tidak akan membentuk bintil akar dan pertumbuhannya hanya akan dapat dipertahankan dengan penambahan pupuk nitrogen dari luar. Akan tetapi jika tanaman tersebut ditumbuhkan pada tanah yang tidak steril dan kemudian terbentuk bintil akar, tanaman akan tumbuh normal tanpa harus diberi pupuk nitrogen dari luar.

Namun tidak semua polong-polongan mampu membentuk bintil akar. Jenis-jenis Leguminosae hanya 88% yang telah terbukti memiliki bintil akar dan sejumlah tumbuhan yang bukan polong-polongan yang memiliki bintil akar dan berisi jasad renik penghambat nitrogen yang bersimbiosis.

B. Metabolisme Nitrogen

Sebagian besar tumbuhan mengandung 1 - 25 % Nitrogen dari berat keringnya. Nitrogen dalam tumbuhan terdapat dalam bentuk antara lain asam amino, protein, enzim, klorofil, alkaloida dan basa nitrogen (Purin dan Pirimidin). Nitrogen yang terdapat dalam atmosfer bumi lebih kurang 80 %, di tanah hanya sedikit terkandung Nitrogen.

Walaupun di atmosfer banyak mengandung nitrogen, suplai untuk organisme terutama tumbuhan sering kurang karena hanya mikroorganisme tertentu saja yang mampu mengasimilasi molekul Nitrogen dan mengubahnya menjadi bentuk yang dapat digunakan tumbuhan.

Mikroorganisme ini terdiri atas 4 tipe utama yaitu :

1. Mikroorganisme yang hidup dalam akar tumbuhan tertentu dan membentuk bintil akar. Misal, akar tumbuhan polong-polongan dengan *rhizobium* sebagai simbiotnya, akar bukan polong-polongan seperti *Alnus*, *Myrica* sebagai simbiotnya adalah *Actinomycetes*.

2. Bakteri tanah Heterotrof tertentu yang hidup bebas, misalnya *Clostridium pasteurianum* (anaerob) dan *Azotobacter* (aerob).
3. Bakteri berfotosintesis, misalnya *Rhodospirillum rubrum*.
4. Beberapa ganggang hijau berfotosintesis, misalnya *Nostoc*, *Anabaena* dan *Oscillatoria*.

Nitrogen yang terdapat dalam tanah sebagian besar berupa organik hasil pembusukan organisme (tumbuhan, hewan dan lain lain), sedangkan lainnya berasal dari pelarutan bantuan, air hujan (dalam bentuk Nitrat dan Amonia) serta aktivitas dari gunung berapi. Sebagian besar tumbuhan menyerap Nitrogen dalam bentuk tertentu dari dalam tanah. Bentuk-bentuk N yang tersedia bagi tumbuhan dapat dibagi menjadi empat kelompok, yaitu Nitrat, Amonia, Nitrogen organik dan molekul Nitrogen. Sangat sedikit tumbuhan, (bakteri dan ganggang tertentu) mampu menggunakan keempat bentuk Nitrogen itu. Meskipun sebagian besar tumbuhan menggunakan nitrat, beberapa tumbuhan dapat mengasimilasi amoniak dan bentuk-bentuk Nitrogen organik tertentu.

C. Efisiensi Tanaman C4 dan C3 terhadap Nitrat

Untuk memproduksi hasil, tanaman sangat tergantung kepada enzim fotosntesis. Hal yang tidak menguntungkan bagi produksi tanaman adalah salah satu protein utama pada daun yang mengandung Nitrogen itu adalah enzim fotosintesis rubisko. Apabila enzim tersebut dihidrolisis oleh proteinase, aktivitas fotosintesis akan menurun selama pembentukan buah dan biji pada semua tanaman.

Bagi tumbuhan di tanah yang miskin nitrogen, hidrolisis protein dan pengangkutan nitrogen ke biji sangat penting bagi produksi biji. Molekul klorofil juga hilang dari daun saat protein dirombak, dan nitrogen di dalam molekul tersebut kemungkinan diangkut ke organ reproduktif. Pada tanaman sereal dan tumbuhan setahun lainnya yang tidak menambat N₂, pengangkutan nitrogen dari bagian vegetatif ke biji kadang- kadang lebih besar dibandingkan dengan yang berlangsung pada tumbuhan kacang, walaupun bijinya mengandung protein dalam persentase yang lebih rendah, misalnya daun gandum dapat kehilangan

sampai dengan 85% nitrogennya (dan fosfat dalam persentase yang sama) sebelum mati.

Pengalihan nitrogen yang tinggi dari organ vegetatif ke bunga dan biji ini diikuti dengan penurunan laju pengambilan nitrogen tanah, yang terjadi pada awal pertumbuhan reproduktif. Jadi, gandum dapat menyerap 90% nitrogen (dan fosfat) yang diperlukan untuk pematangan selama separuh pertama umumnya. Perlu diingat bahwa, pengangkutan nitrogen dari organ vegetatif terjadi sebagian akibat perombakan rubisko. Perombakan ini lebih menghambat pertumbuhan pada tumbuhan C-3 dibandingkan dengan tumbuhan C-4, sebab tumbuhan C-4 mengandung enzim rubisko hanya 10% dari yang terdapat pada tumbuhan C-3. sel mesofil tumbuhan C-4 tidak mengandung rubisko.

TUGAS:

1. Jelaskan pengertian fiksasi nitrogen!
2. Tuliskan minimal 3 bakteri yang mampu melakukan fiksasi nitrogen!
3. Uraikan secara ringkas proses fiksasi nitrogen!
4. Buatlah skema proses reduksi nitrat!

BAB VII

ENZIM

A. Pengertian Enzim

Enzim adalah biomolekul yang berfungsi sebagai katalis (senyawa yang mempercepat proses reaksi tanpa habis bereaksi) dalam suatu reaksi kimia. Bila zat ini tidak ada maka proses-proses tersebut akan terjadi lambat atau tidak berlangsung sama sekali. Hampir semua enzim merupakan protein. Enzim adalah biokatalisator, yang artinya dapat mempercepat reaksi-reaksi biologi tanpa mengalami perubahan struktur kimia. Pada reaksi yang dikatalisasi oleh enzim, molekul awal reaksi disebut sebagai substrat, dan enzim mengubah molekul tersebut menjadi molekul-molekul yang berbeda, disebut produk. Hampir semua proses biologis sel memerlukan enzim agar dapat berlangsung dengan cepat.

Menurut Kuhne (1878), enzim berasal dari kata *in* + *zyme* yang berarti sesuatu di dalam ragi. Berdasarkan penelitian maka dapat disimpulkan bahwa enzim adalah suatu protein yang berupa molekul-molekul besar. Pada enzim terdapat bagian protein yang tidak tahan panas yaitu disebut dengan *apoenzim*, sedangkan bagian yang bukan protein adalah bagian yang aktif dan diberi nama *gugus prostetik*, biasanya berupa logam seperti besi, tembaga, seng atau suatu bahan senyawa organik yang mengandung logam.

Apoenzim dan gugus prostetik merupakan suatu kesatuan yang disebut *holoenzim*, tetapi ada juga bagian enzim yang apoenzim dan gugus prostetiknya tidak menyatu. Bagian gugus prostetik yang lepas kita sebut *koenzim*, yang aktif seperti halnya gugus prostetik. Contoh koenzim adalah vitamin atau bagian vitamin (misalnya: vitamin B1, B2, B6, niasin dan biotin).

B. Enzim di dalam Sel

Sel hidup ibarat pabrik kimia yang bergantung pada energi yang harus mengikuti berbagai kaidah kimia. Reaksi kimia yang memungkinkan adanya

kehidupan disebut metabolisme. Terdapat ribuan reaksi berkesinambungan yang terjadi di dalam setiap sel, sehingga metabolisme merupakan reaksi yang menakjubkan. Agar sel berfungsi dan berkembang dengan sebagaimana mestinya, lintasan metaboliknya harus diatur dengan seksama.

Sel dapat mengatur lintasan metabolik yang mana yang berjalan, dan seberapa cepat, dengan cara memproduksi katalis yang tepat yang dinamakan *Enzim*, dalam jumlah yang sesuai dan pada saat diperlukan. Hampir semua reaksi kimia kehidupan berlangsung sangat lambat tanpa katalis, dan enzim merupakan katalis yang lebih khas dan lebih kuat dibandingkan dengan ion logam atau senyawa anorganik lainnya yang dapat diserap tumbuhan dari tanah. Jadi, enzim umumnya meningkatkan kecepatan reaksi dengan faktor.

Di dalam sel enzim tidak terdistribusi merata di seluruh plasma, namun terkonsentrasi pada organela-organela tempat terjadinya reaksi. Misalnya enzim yang berkaitan dengan reaksi Calvin dan Krebs berkumpul di mitokondria dan kloroplas. Enzim yang dibutuhkan dalam sintesis DNA dan RNA serta untuk proses mitosis terdistribusi di dalam inti sel. Enzim-enzim di dalam sel akan bekerja secara berkesinambungan. Artinya produk suatu tahap reaksi akan dibebaskan pada tempat dimana produk ini dapat segera dikonversi oleh enzim lain berikutnya. Ada beberapa enzim yang dijumpai di luar organela, namun juga tidak tersebar karena adanya retikulum endoplasma yang bercabang-cabang.

C. Sifat-Sifat Enzim

Sifat-sifat enzim adalah sebagai berikut :

1. *Enzim aktif dalam jumlah yang sangat sedikit.* Dalam reaksi biokimia hanya sejumlah kecil enzim yang dibutuhkan untuk mengubah sejumlah besar substrat menjadi produk hasil.
2. *Enzim tidak terpengaruh oleh reaksi yang dikatalisnya pada kondisi stabil.* Karena sifat protein dan enzim, aktivitasnya dipengaruhi antara lain oleh *pH* dan *suhu*. Pada kondisi yang dianggap tidak optimum suatu enzim merupakan senyawa relatif tidak stabil dan dipengaruhi oleh reaksi yang dikatalisisnya.

3. Walaupun enzim mempercepat penyelesaian suatu reaksi, *enzim tidak mempengaruhi kesetimbangan reaksi* tersebut. Tanpa enzim reaksi dapat balik yang biasa terdapat dalam sistem hidup berlangsung ke arah kesetimbangan pada laju yang sangat lambat. Suatu enzim akan menghasilkan kesetimbangan reaksi itu pada kecepatan yang lebih tinggi.
4. *Kerja katalis enzim spesifik*. Enzim menunjukkan kekhasan untuk reaksi yang dikatalisnya. Suatu enzim yang mengkatalisis satu reaksi, tidak akan mengkatalis reaksi yang lain.

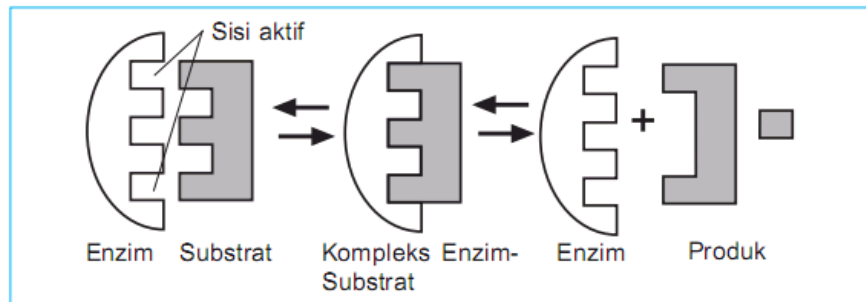
D. Cara Kerja Enzim

Enzim juga dapat dibedakan menjadi eksoenzim dan endoenzim berdasarkan tempat kerjanya, ditinjau dari sel yang membentuknya. Eksoenzim ialah enzim yang aktivitasnya diluar sel. Endoenzim ialah enzim yang aktivitasnya didalam sel.

Selain eksoenzim dan endoenzim, dikenal juga enzim konstitutif dan enzim induktif. Enzim konstitutif ialah enzim yang dibentuk terus-menerus oleh sel tanpa peduli apakah substratnya ada atau tidak. Enzim induktif (enzim adaptif) ialah enzim yang dibentuk karena adanya rangsangan substrat atau senyawa tertentu yang lain. Misalnya pembentukan enzim beta-galaktosida pada *Escherichia coli* yang diinduksi oleh laktosa sebagai substratnya. Tetapi ada senyawa lain juga yang dapat menginduksi enzim tersebut walaupun tidak merupakan substannya, yaitu melibiosa. Tanpa adanya laktosa atau melibiosa, maka enzim beta-galaktosidase tidak disintesis, tetapi sintesisnya akan dimulai bila ditambahkan laktosa atau melibiosa.

Enzim bekerja dengan cara menempel pada permukaan molekul zat-zat yang bereaksi dan dengan demikian mempercepat proses reaksi. Percepatan terjadi karena enzim menurunkan energi pengaktifan yang dengan sendirinya akan mempermudah terjadinya reaksi. Sebagian besar enzim bekerja secara khas, yang artinya setiap jenis enzim hanya dapat bekerja pada satu macam senyawa atau reaksi kimia. Hal ini disebabkan perbedaan struktur kimia tiap enzim yang bersifat

tetap. Sebagai contoh, enzim a-amilase hanya dapat digunakan pada proses perombakan pati menjadi glukosa.



Gambar 7.1 Cara Kerja Enzim

(Sumber: <https://saintif.com/enzim-sifat-struktur-dan-cara-kerjanya-lengkap/>)

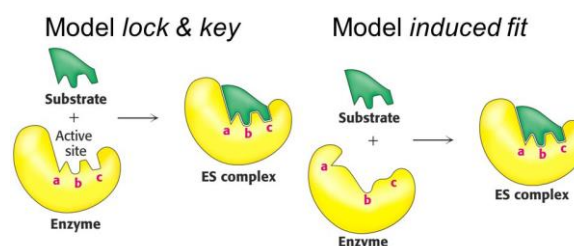
Ada dua cara kerja enzim, yaitu: model kunci gembok dan induksi pas.

a. Model kunci gembok (block and key)

Enzim dimisalkan sebagai gembok karena memiliki sebuah bagian kecil yang dapat berikatan dengan substrat bagian terse but disebut sisi aktif. Substrat dimisalkan sebagai kunci karena dapat berikatan secara pas dengan sisi aktif enzim (gembok).

b. Induksi Pas (Model Induced Fit)

Mekanisme reaksi



Gambar 7.2 Mekanisme reaksi Model kunci gembok (block and key) dan Induksi Pas (Model Induced Fit).

(Sumber: <https://slideplayer.info/slide/3752539/>)

E. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kerja Enzim

Kerja enzim dipengaruhi oleh beberapa faktor; terutama adalah temperatur; derajat keasaman (pH), konsentrasi enzim dan substrat, kofaktor dan inhibitor. Tiap enzim memerlukan suhu dan pH (tingkat keasaman) optimum yang berbeda-beda, karena enzim adalah protein, yang dapat mengalami perubahan bentuk jika suhu dan keasaman berubah. Di luar suhu atau pH yang sesuai, enzim tidak dapat bekerja secara optimal atau strukturnya akan mengalami kerusakan. Hal ini akan menyebabkan enzim kehilangan fungsinya sama sekali. Kerja enzim juga dipengaruhi oleh molekul lain. Inhibitor adalah molekul yang menurunkan aktivitas enzim, sedangkan aktivator adalah yang meningkatkan aktivitas enzim. Banyak obat dan racun adalah inhibitor enzim. Faktor - faktor tersebut diantaranya:

a. Temperatur

Enzim tersusun dari protein, maka enzim sangat peka terhadap temperature. Temperature yang terlalu tinggi dapat menyebabkan denaturasi protein. Temperature yang terlalu rendah dapat menghambat reaksi. Pada umumnya temperatur optimum enzim adalah 30-40°C. Kebanyakan enzim tidak menunjukkan reaksi jika suhu turun sampai 0°C, namun enzim tidak rusak, bila suhu normal maka enzim akan aktif kembali. Enzim tahan pada suhu rendah, namun rusak di atas suhu 50°C.

b. Perubahan pH

Enzim juga sangat terpengaruh oleh pH. Perubahan pH dapat mempengaruhi perubahan asam amino kunci pada sisi aktif enzim sehingga menghalangi sisi aktif berkombinasi dengan substratnya. pH optimum yang diperlukan berbeda - beda tergantung jenis enzimnya.

c. Konsentrasi Enzim dan Substrat

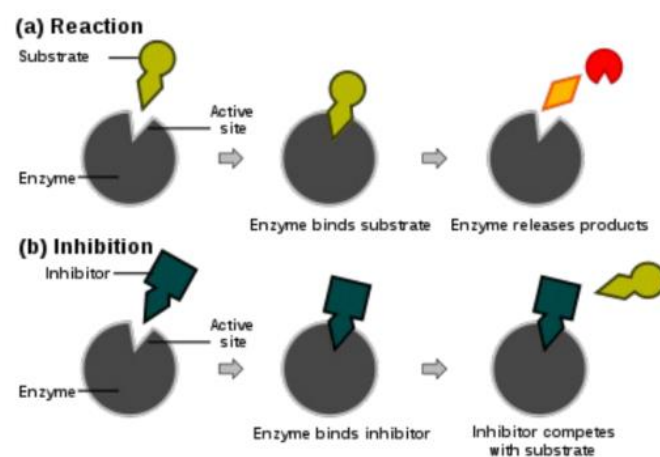
Agar reaksi berjalan optimum, maka perbandingan jumlah antara enzim dan substrat harus sesuai. Jika enzim terlalu sedikit dan substrat terlalu banyak reaksi akan berjalan lambat bahkan ada substrat yang tidak terkatalisasi. Semakin banyak enzim, reaksi akan semakin cepat.

d. Inhibitor Enzim

Seringkali enzim dihambat oleh suatu zat yang disebut inhibitor, ada dua jenis inhibitor yaitu sebagai berikut:

1. Inhibitor kompetitif.

Pada penghambatan ini zat- zat penghambat mempunyai struktur yang mirip dengan struktur substrat. Dengan demikian baik substrat maupun zat penghambat berkompetisi atau bersaing untuk bersatu dengan sisi aktif enzim, jika zat penghambat lebih dulu berikatan dengan sisi aktif enzim, maka substratnya tidak dapat lagi berikatan dengan sisi aktif enzim.



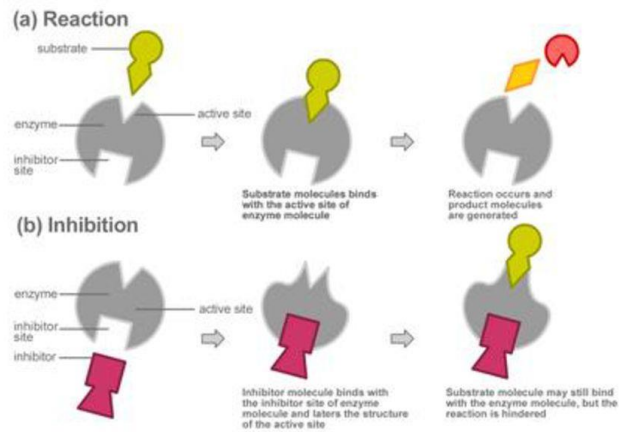
Gambar 7.3 Inhibitor kompetitif

(Sumber: <https://dokumen.tips/documents/inhibisi-enzim.html>)

2. Inhibitor nonkompetitif

Pada penghambatan ini, substrat sudah tidak dapat berikatan dengan kompleks enzim-inhibitor, karena sisi aktif enzim berubah.

KERJA ENZIM DENGAN INHIBITOR NON KOMPETITIF



Gambar 7.4 Inhibitor nonkompetitif

(Sumber: <https://slideplayer.info/slide/13740631/>)

TUGAS:

1. Uraikanlah hubungan karakteristik sifat enzim dengan mekanisme kerja enzim di dalam tubuh tumbuhan!
2. Jabarkan minimal 3 peranan enzim pada metabolisme tubuh tumbuhan!
3. Buatlah klasifikasi singkat penggolongan enzim!

BAB VIII

HORMON

A. Hormon pada Tumbuhan

Hormon tanaman didefinisikan sebagai senyawa organik bukan nutrisi yang aktif dalam jumlah yang kecil (10^{-6} - 10^{-5} mM) yang disintetiskan pada bagian tertentu dari tanaman dan pada umumnya diangkut ke bagian lain tanaman dimana zat tersebut menimbulkan tanggapan secara biokimia, fisiologis dan morfologis. Zat pengatur tumbuh adalah senyawa organik bukan hara, yang dalam jumlah sedikit (lmM) dapat merangsang, menghambat dan mempengaruhi pola pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Wattimena 2000).

Zat pengatur tumbuh ada yang berasal dari tumbuhan itu sendiri (zat pengatur tumbuh endogen) dan bersifat alami dan ada juga yang berasal dari luar tumbuhan tersebut dan disebut sintetis. Zat pengatur tumbuh sangat diperlukan sebagai komponen medium bagi pertumbuhan dan diferensiasi sel. Tanpa zat pengatur tumbuh, pertumbuhan eksplan akan terhambat, bahkan mungkin tidak tumbuh sama sekali.

Menurut definisi diatas, hormon tanaman harus memenuhi beberapa syarat berikut, yaitu :

1. Senyawa organik yang dihasilkan oleh tanaman sendiri
2. Harus dapat ditranslokasikan
3. Tempat sintetis dan kerja berbeda
4. Aktif dalam konsentrasi rendah.

Dengan batasan-batasan tersebut vitamin dan gula tidak termasuk dalam hormon tanaman. Gula diproduksi di daun dan bagian lain yang mengandung butir hijau daun dan ditranslokasi ke bagian lain, tapi aktif dalam jumlah besar (10^{-3} mM). Vitamin juga bahan organik yang aktif dalam jumlah kecil, tetapi pada umumnya tidak ditranslokasi. Tempat sintetis dan tempat kerja adalah sama.

Dikenal 5 golongan fitohormon yaitu: auksin, giberelin, sitokinin, asam absisik dan etilen. Fitohormon ini terdapat di dalam tanaman dalam berbagai bentuk, sehingga sulit untuk mengerti cara kerja fitohormon itu dengan cara baik. Selain itu tanaman juga mengandung senyawa-senyawa lain yang turut aktif dalam berbagai proses pertumbuhan dan perkembangan. Senyawa-senyawa itu, antara lain adalah asam polifenolik, vitamin, siklitol dan berbagai senyawa lainnya.

1. Auksin

Auksin didefinisikan sebagai zat tumbuh yang mendorong elongasi jaringan koleoptil pada percobaan-percobaan bio-assay dengan Avena atau tanaman lainnya. Indole Asetic Acid (IAA) adalah auksin endogen atau auksin yang terdapat pada tanaman. Sitokinin dan auksin merupakan dua golongan zat pengatur tumbuh yang sangat penting dalam budidaya jaringan tanaman.

Golongan auksin yang lebih sering digunakan adalah 2,4-D, IAA, NAA, IBA. Auksin yang paling efektif untuk menginduksi perbelahan sel dan pembentukan kalus adalah 2,4-D dengan konsentrasi antara 0,2-2 mg/l untuk sebagian jaringan tanaman. NAA dan 2,4 D lebih stabil dibandingkan dengan IAA, yaitu tidak mudah terurai oleh enzim-enzim yang dikeluarkan oleh sel atau karena pemanasan pada saat proses sterilisasi. IM juga kurang menguntungkan karena cepat rusak oleh cahaya dan oksidasi enzimatis.

Adapun Pengaruh Fisiologis dari Auksin pada pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan, antara lain:

1. Pembesaran sel.
2. Penghambatan mata tunas samping .
3. Absisi (pengguguran daun).
4. Aktivitas dari kambium.
5. Pertumbuhan akar.

2. Giberelin

Giberelin yang umumnya tersedia di pasaran adalah GA3 dan giberelin ini yang banyak dipergunakan pada penelitian- penelitian fisiologi tumbuhan. Di dalam diskusi giberelin atau GA dipakai untuk giberelin yang telah diketahui struktur kimianya (GA1, GA3, GA7 dan seterusnya) sedangkan zat - zat yang aktivitas biologisnya seperti GA tetapi bel urn diketahui struktur kimianya disebut gibberellin like compounds (GAL).

Kebanyakan tanaman berespons terhadap pemberian GA dengan pertambahan panjang batang. Pengaruh GA terutama di dalam perpanjangan ruas tanaman yang disebabkan oleh bertambah besar dan jumlah sel-sel pada ruas - ruas terse but. Brian dan Hemming melihat bahwa GA mempunyai pengaruh yang berbeda terhadap tanaman yang normal dan tanaman yang kate. Bila tanaman kapri dari kultivaryang kate disemprot dengan GA maka terjadi perpanjangan batang dan tinggi tanaman tersebut serupa dengan tanaman yang normal. Sebaliknya jika tanaman dari kultivar yang normal diberi GA, maka tanaman tersebut tidak berespons.

3. Sitokinin

Sitokinin berperan penting dalam pengaturan pembelahan sel dan morfogenesis. Sitokinin yang pertama sekali ditemukan adalah kinetin. Kinetin bersama-sama dengan auksin memberikan pengaruh interaksi terhadap diferensiasi jaringan. Pada pemberian auksin dengan konsentrasi relatif tinggi, diferensiasi kalus cenderung ke arah pembentukan primordia akar, sedangkan pada pemberian kinetin yang relatif tinggi, diferensiasi kalus cenderung ke arah pembentukan primordia batang atau tunas.

Sitokinin mempengaruhi berbagai proses fisiologis di dalam tanaman. Aktivitas yang terutama ialah mendorong pembelahan sel dan aktivitas ini yang menjadi kriteria utama untuk menggolongkan suatu zat ke dalam sitokinin. Akan tetapi proses-proses pembelahan sel pada sel-sel meristem akan dihambat oleh pemberian sitokinin eksogen.

Baik efek yang menghambat maupun efek yang mendorong proses pembelahan sel oleh sitokinin tergantung oleh adanya fitohormon lainnya terutama auksin. Tidak diketahui perbandingan sitokinin dan auksin yang bagaimana yang merangsang atau menghambat proses pembelahan sel.

4. Etilen

Etilen adalah suatu gas dari pembakaran gas yang tidak sempurna dari senyawa-senyawa yang kaya akan ikatan karbon seperti batu bara, minyak bumi dan gas alam. Merupakan komponen dari asap-asap yang dikeluarkan oleh kendaraan-kendaraan bermotor dan industri-industri yang mempergunakan bahan bakar gas. Segera setelah diperkenalkan "*illuminating gas*" untuk penerangan rumah dan jalan-jalan raya, maka terlihat gejala-gejala kerusakan etilen pada tumbuhan-tumbuhan di sekitar tempat-tempat penerangan tersebut. Gejala-gejala itu antara lain, keguguran daun, keriting daun, hilangnya warna tajuk bunga, pembengkakan batang, penghambatan elongasi dan penghambatan pertumbuhan akar. Setelah ditelusuri ternyata penyebab gejala-gejala tersebut adalah etilen. Selanjutnya juga diketahui bahwa tanaman sendiri memproduksi etilen melalui proses metabolisme selama pertumbuhan dan perkembangan tanaman tersebut.

5. Asam Absisik

Pada tahun 1955 Osborn mendapatkan bahwa daun yang gugur mengandung senyawa-senyawa organik yang mempercepat pengguguran daun yang sifat-sifatnya berbeda dari IAA dan fitohormon lainnya (sitokinin dan giberelin). Carns, Addicott dan kawan-kawan mengisolasi beberapa senyawa organik yang mempercepat absisi dari tanaman kapas, yang mereka beri nama absisin I dan II. Bila dormin diberikan pada daun pohon-pohonan yang sedang tumbuh aktif (flush) maka akan terjadi dormansi mata tunas. Kelompok peneliti lain mengisolasi suatu zat dari tanaman lupin (*Lupinus luteus*) yang dapat menggugurkan buah lupin. Akhirnya diketahui bahwa dormin dan zat yang mempercepat keguguran buah pada lupin adalah identik dengan absisik II. Pada

tahun 1967 diputuskan bahwa absisik 11/dormin untuk selanjutnya diberi nama asam absisik (ABA).

Peranan ABA sangat nyata dalam proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman. ABA berinteraksi dengan zat-zat pengatur tumbuh tanaman yang lain pada proses tersebut, biasanya interaksi ini bersifat menghambat (antagonisma). Pada kebanyakan hal, sifat menghambat ABA dapat diatasi dengan pemberian lebih banyak zat-zat tumbuh tersebut. Sebagai contoh, pengaruh IAA dalam mendorong pembengkakan koleptil *Avena* dihambat oleh ABA.

B. Senyawa-senyawa Organik Tanaman Lainnya yang Secara Biologis Aktif

Selain auksin, giberelin, sitokinin, asam absisik dan etilen, tanaman juga mengandung banyak senyawa organik lainnya. Banyak dari senyawa-senyawa tersebut menunjukkan aktivitas seperti zat tumbuh jika diuji pada tanaman, organ, jaringan atau sel. Beberapa di antara senyawa tersebut dapat meningkatkan hasil tanaman pangan dan tanaman sayuran.

1. Fenolik

Sejumlah besar senyawa-senyawa dapat dikelompokkan ke dalam senyawa-senyawa fenolik terdapat di dalam tanaman. Senyawa-senyawa fenolik sangat beragam dalam struktur kimianya, mulai dari senyawa-senyawa seperti katekol, asam kafeik dan aeskulin sampai kepada anthosianidin dan senyawa-senyawa fenolik yang kompleks. Banyak fenolik merupakan warna pigmen (biru, merah, kuning, jingga) dan berfungsi dalam pewarnaan tajuk bunga, daun dan jaringan-jaringan. Fenol kebanyakan terdapat dalam bentuk terikat dengan gula dalam bentuk glukosida (anthosianidin + gula = anthosianin). Beberapa fenol yang sederhana berfungsi sebagai fungisida dan bakterisida yang kuat yang melindungi tanaman dari serangan cendawan dan bakteri.

Percobaan dengan berbagai jenis senyawa-senyawa fenolik sintetis (eksogen) menunjukkan bahwa senyawa-senyawa fenolik menghambat pembelahan sel, pembesaran sel, pertumbuhan dan perkecambahan biji. Apakah senyawa-senyawa fenolik endogen mempunyai pengaruh yang serupa, masih terus diadakan penelitian ke arah itu.

2. Vitamin

Sebagian sudah diuraikan pada bab media kultur jaringan. Vitamin digolongkan ke dalam vitamin yang larut dalam air dan dalam lemak. Vitamin yang larut dalam air termasuk vitamin C (asam askorbat) dan golongan vitamin B yang terdiri dari vitamin B1 (thiamine), vitamin B2 (riboflavin), vitamin B6 (pyridoxine), asam folat, nicotianamide, asam pantetonat, vitamin B12 (kobalamin) dan biotin. Termasuk vitamin yang larut dalam lemak adalah vitamin A (carotene), vitamin D, vitamin E, vitamin K, vitamin Q (ubiquinone) dan vitamin E. Fungsi dari vitamin tersebut pada hewan cukup jelas. Golongan vitamin B merupakan komponen penting dari koenzim-koenzim yang penting dalam metabolisme sel-sel, thiamin pirofosfat adalah bagian yang aktif dari enzim karboksilase; nicotianamide sebagai komponen NAD dan NADP dan asam panthetonat adalah bagian dari koenzim A. Vitamin A berpengaruh pada sistem pigmen, vitamin K adalah komponen dari guinone (elektro transpor pada proses fotosintesis). Karena vitamin berfungsi sebagai kofaktor dalam reaksi-reaksi enzim, vitamin biasanya terdapat di dalam sel dalam jumlah yang kecil.

3. Cyclitols

Steward dkk, mempelajari komposisi air kelapa, didapat bahwa fraksi dari air kelapa mengandung beberapa jenis cyclitols yaitu myoinositol dan suelonositol dalam jumlah yang cukup tinggi. Inositol secara tersendiri tidak dapat mendorong pertumbuhan kalus dari wortel, tetapi bersama-sama dengan fraksi air kelapa yang aktif, inositol dapat mendorong pertumbuhan kalus tersebut. Inositol juga dapat mendorong pertumbuhan tanaman kalus lainnya, jika diberi tambahan auksin, kinetin dan vitamin. Tidak diketahui apakah semua jenis kalus memerlukan inositol, tetapi sekurang-kurangnya beberapa jenis kalus mutlak memerlukan inositol. Peranan inositol di dalam pertumbuhan kalus belum diketahui sampai saat ini. Penemuan-penemuan akhir-akhir ini menunjukkan bahwa inositol ikut berperan di dalam beberapa proses metabolisme penting yang berhubungan dengan pertumbuhan sel. Inositol adalah suatu bahan antara dalam mengubah

glukosa menjadi asam glukoronat dan asam galakturonat, kedua asam ini adalah bahan-bahan penyusun dinding sel primer.

4. Bassinolide

Beberapa tahun lalu John W. Mitchell dari USDA Beltsville, Maryland, mengawali suatu program yang menyelidiki tepung sari tanaman sebagai zat tumbuh tanaman. Ekstrak dari tepung sari bunga "rape" (*B. napus*) ternyata dapat mendorong pertumbuhan kecambah kacang buncis. Bassinolide menaikkan hasil dari beberapa jenis tanaman seperti lobak, kentang, kacang buncis, selada jika tanaman tersebut disemprot bassinolide dengan konsentrasi rendah.

5. Triacontanal (TRIA)

Pada tahun 1977 S.K. Ries dari Michigan State University mendapatkan bahwa pemberian bubuk daun alfalfa ke dalam media tanah dapat mendorong pertumbuhan dan menaikkan hasil tanaman kedelai, jagung, gandum, padi, tomat dan wortel. Beliau dan kawan-kawannya selanjutnya menemukan bahwa bahan aktif dalam daun alfalfa itu adalah suatu alkohol alifatik berantai panjang yaitu 1-hidroksi triacontane.

6. Hormon Bunga

Pembungaan dapat dikontrol oleh suatu zat yang mendorong pembungaan yang ditranslokasi di dalam tanaman. M. Kh. Chailan seorang ahli fisiologi tumbuhan Uni Soviet memberikan nama florigen untuk zat tersebut. Beberapa peneliti mendapatkan bahwa ada ekstrak (florigen) yang dapat mendorong pembungaan tetapi belum dapat mengisolasi dan mengidentifikasi zat tersebut. Percobaan-percobaan dengan ekstrak tanaman sukar untuk membuktikan adanya florigen endogen, oleh karena itu florigen sampai saat ini dianggap suatu hal yang tentative.

TUGAS:

1. Ada dikenal 5 golongan fitohormon dalam mendukung pertumbuhan tanaman yaitu, kecuali :
 - a. Auksin
 - b. Sitokinin
 - c. Giberelin
 - d. Hormon

(Kunci Jawaban : D, Tipe Soal C2)

2. Senyawa organik bukan nutrisi yang aktif dalam jumlah yang kecil (10^{-6} - 10^{-5} mM) yang disintetiskan pada bagian tertentu dari tanaman dan pada umumnya diangkut ke bagian lain tanaman dimana zat tersebut menimbulkan tanggapan secara biokimia, fisiologis dan morfologis. Hal itu merupakan pengertian dari :
 - a. Zat Tanaman
 - b. Hormon Tanaman
 - c. Senyawa Organik Tanaman
 - d. Zat Aktif Tanaman

(Kunci Jawaban : B, Tipe Soal C2)

3. Suatu gas dari pembakaran gas yang tidak sempurna dari senyawa-senyawa yang kaya akan ikatan karbon seperti batu bara, minyak bumi dan gas alam disebut dengan :
 - a. Etilen
 - b. Sitokonin
 - c. Giberelin
 - d. Asam Absisik

(Kunci Jawaban : A, Tipe Soal C2)

BAB IX

PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN

A. Pertumbuhan Tumbuhan

Definisi pertumbuhan dalam arti sempit berarti pembelahan sel (peningkatan jumlah) dan pembesaran sel (peningkatan ukuran). Kedua proses ini merupakan proses yang tidak dapat berbalik (*irreversible*). (Franklin. P, 1991, hlm 248). Pertumbuhan tanaman sering didefinisikan sebagai pertambahan ukuran, karena organism multisel tumbuh dari zigot, pertambahan itu bukan hanya volume, tetapi juga dalam bobot, jumlah sel, banyaknya protoplasma, dan tingkat kerumitan. (Salis Burry & Ross, 1995, hlm. 2).

Selama pertumbuhan tanaman akan membentuk berbagai macam organ. Organ tanaman dibedakan menjadi organ vegetatif dan organ generatif. Akar, batang dan daun tergolong dalam organ vegetatif. Bunga, buah dan biji termasuk dalam organ generatif. Organ-organ vegetatif akan terbentuk lebih awal dibandingkan organ-organ generatif. Fase saat tanaman membentuk organ vegetatif disebut fase vegetatif. Fase ini ditandai dengan mulai berkembangnya organ vegetatif pada tanaman antara lain tunas, daun dan batang. Pertumbuhan vegetatif ditandai dengan berbagai aktivitas pembentukan dan pembesaran daun, pembentukan meristem apikal atau lateral dan pertumbuhannya menjadi cabang-cabang, dan ekspansi sistem perakaran tanaman. (Lakitan. B, 1996, hlm. 43).

Pertumbuhan tidak berlangsung secara seragam pada semua bagian tanaman. Pertumbuhan terjadi terutama pada bagian yang disebut jaringan meristem. Jaringan meristem terdiri dari sel-sel yang dihasilkan dari proses pembelahan sel. Pembelahan bersamaan dengan pembesaran sel akan menghasilkan pertambahan pada ukuran tanaman. Jaringan

meristem dapat ditemukan pada bagian ujung akar dan batang serta kambium vaskuler. Pada tanaman monokotil, jaringan meristem juga dijumpai pada bagian pangkal dari setiap ruas batang.

Pertumbuhan merupakan bertambahnya ukuran, karena organisme multisel tumbuh dari zigot, penambahan itu bukan hanya dalam volume, tapi juga dalam bobot, jumlah sel, banyaknya protoplasma dan tingkat kerumitan. Pertumbuhan dapat diukur dengan macam pengukuran yang lazim digunakan untuk mengukur pertumbuhan volume atau massa. Pertambahan volume (ukuran) ditentukan dengan cara mengukur perbesaran ke satu atau dua arah, seperti panjang (misalnya tinggi batang), diameter (misalnya diameter batang) atau luas (misalnya luas daun). Pengukuran volume misalnya dengan cara pemindahan air, bersifat tidak merusak sehingga tumbuhan yang sama dapat diukur berulang-ulang pada waktu yang berbeda. (Salisbury & Ross, 1995, hlm. 2).

Pertumbuhan menunjukkan suatu pertambahan dalam ukuran dengan menghilangkan konsep-konsep yang menyangkut perubahan kualitas seperti halnya pengertian mencapai ukuran penuh (*full size*) atau kedewasaan (*maturity*), yang tidak relevan dengan pengertian proses pertumbuhan. Meskipun demikian konsep sederhana mengenai pertumbuhan ukuran, mengalami kesukaran juga karena banyak kemungkinan cara untuk mengukurnya. Pertumbuhan dapat diukur sebagai pertumbuhan panjang, lebar atau luas, tetapi dapat pula diukur berdasarkan pertumbuhan volume, masa atau berat (segar atau kering). Setiap parameter ini menggambarkan sesuatu yang berbeda dan jarang adanya hubungan sederhana antara mereka dalam organisme yang sedang tumbuh. Hal ini disebabkan pertumbuhan sering terjadi dalam arah kadar cepat yang berbeda yang satu sama lain tidak berkaitan, sehingga perbandingan linier antara luas dan volume tidak terjadi pada waktu yang bersamaan. (Sastramihardja, D, 1990, hlm 173).



Gambar 9.1 Pertumbuhan Pada Tanaman

(Sumber: [https://www.zonasiswa.com/2017/04/pengetian-perkembangan-pada tumbuhan.html](https://www.zonasiswa.com/2017/04/pengetian-perkembangan-pada-tumbuhan.html))

B. Perkembangan Tumbuhan

Perkembangan merupakan istilah umum, mengacu pada jumlah dari semua perubahan yang sel, jaringan, organ, atau organisme menuju kedewasaan. Perkembangan yang paling tampak dimanifestasikan sebagai perubahan bentuk organ atau organisme, seperti transisi dari embrio ke bibit, dari primordial daun ke daun sepenuhnya diperluas, atau dari produksi organ vegetatif untuk produksi struktur bunga. Perkembangan dapat didefinisikan sebagai suatu perubahan teratur dan berkembang, seringkali menuju suatu keadaan yang lebih tinggi, lebih teratur, atau lebih kompleks, atau dapat pula dikatakan sebagai suatu seri perubahan pada organisme yang terjadi selama daur hidupnya yang meliputi pertumbuhan dan diferensiasi. Perkembangan dapat terjadi tanpa pertumbuhan dan demikian juga halnya pertumbuhan dapat terjadi tanpa perkembangan, tetapi kedua proses ini sering bergabung dalam satu proses. (Sastramihardja. D, 1990, hlm 174).

Perkembangan mewujudkan perubahan dan perubahan-perubahan tersebut dapat berjalan secara bertahap atau berjalan sangat cepat. Pada perkembangan tidak hanya perubahan kuantitatif tetapi juga menyangkut

perubahan kualitatif diantara sel, jaringan, dan organ yang disebut *diferensiasi*. Peristiwa perkembangan yang penting seperti perkecambahan, perbungaan atau penuaan (*senescence*) menghasilkan perubahan yang mendadak di dalam kehidupan atau pola pertumbuhan tumbuhan. Proses-proses perkembangan lainnya berlangsung terus secara lambat atau bertahap selama separuh atau seluruh hidup tumbuhan. (Sastramihardja. D, 1990, hlm 174).

Sedangkan pengertian perkembangan secara umum adalah proses perubahan menuju kedewasaan melalui proses pertumbuhan dan *diferensiasi*. Perkembangan tidak dapat diukur (*kualitatif*). Perkembangan biasanya ditandai dengan terbentuknya bunga sebagai alat reproduksi tumbuhan. Fase Pertumbuhan dan Perkembangan yaitu Proses atau fase pertumbuhan dan perkembangan dibagi menjadi 3 yaitu: Perkecambahan, Pertumbuhan Primer dan Pertumbuhan Sekunder.

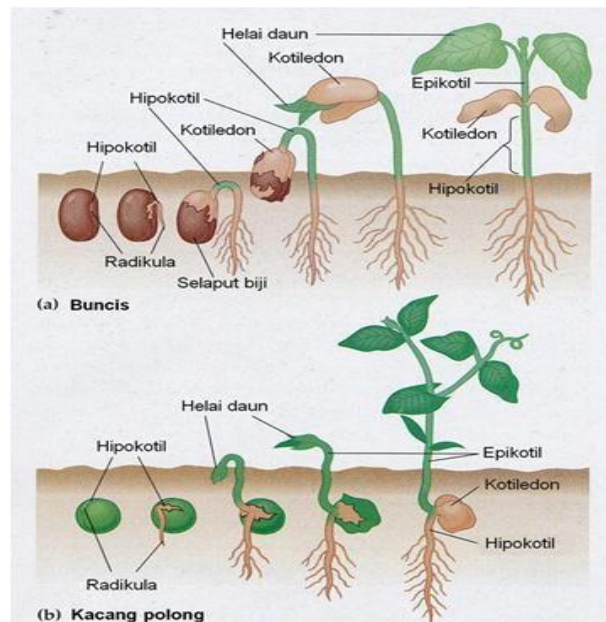
1. Perkecambahan

Perkecambahan merupakan proses pertumbuhan dan perkembangan dari embrio yang mengalami perubahan dimana plumula tumbuh dan berkembang menjadi batang dan radikula tumbuh menjadi akar. Berdasarkan letak kotiledon saat berkecambah ada dua tipe perkecambahan yaitu, perkecambahan hipogeal dan perkecambahan epigeal.

Perkecambahan hipogeal ditandai dengan epikotil tumbuh memanjang kemudian plumula tumbuh ke permukaan tanah menembus kulit biji. Kotiledon tetap berada di dalam tanah. Contoh tumbuhan yang mengalami perkecambahan ini adalah kacang ercis, kacang kapri, jagung, dan rumput-rumputan. Biji yang berkecambah belum memiliki kemampuan untuk menyintesis cadangan makanan sendiri. Kebutuhan karbohidrat didapatkan dari cadangan makanan (endosperma). Umumnya cadangan makanan pada biji berupa amilum (pati). Pati tidak dapat ditransportasikan ke sel-sel lain, oleh karena itu pati harus diubah terlebih dahulu kedalam bentuk gula yang terlarut dalam air. (Campbell *et al.*,

2000, hlm. 366)

Tipe perkecambahan epigeal ditandai dengan hipokotil yang tumbuh memanjang sehingga plumula dan kotiledon terangkat ke atas (permukaan tanah). Kotiledon dapat melakukan fotosintesis selama daun belum terbentuk. Contoh tumbuhan ini adalah kacang hijau, kedelai, bunga matahari dan kacang tanah. Organ pertama yang muncul ketika biji berkecambah adalah radikula. Radikula ini kemudian akan tumbuh menembus permukaan tanah. Untuk tanaman dikotil yang dirangsang dengan cahaya, ruas batang hipokotil akan tumbuh lurus ke permukaan tanah mengangkat kotiledon dan epikotil. Epikotil akan memunculkan daun pertama kemudian kotiledon akan rontok ketika cadangan makanan di dalamnya telah habis digunakan oleh embrio. (Campbell *et al.*, 2000, hlm. 367).



Gambar 9.2 Perkecambahan biji epigeal (a) dan perkecambahan biji hipogeal (b)

(Sumber: Campbell *et al.*, 2000: 366)

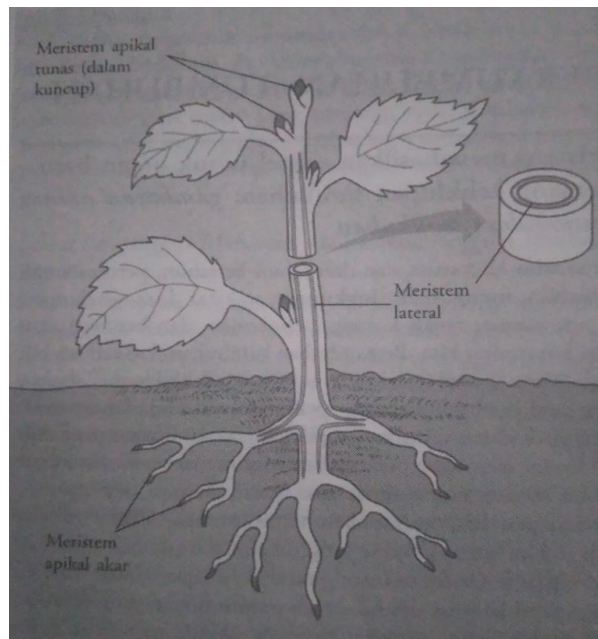
2. Pertumbuhan Primer

Pertumbuhan primer merupakan pertumbuhan yang sangat dasar yang terjadi pada tumbuhan. Pertumbuhan primer terjadi karena sel-sel pada jaringan meristem melakukan pembelahan secara terus-menerus. Jaringan meristem terdapat pada ujung akar dan ujung batang. Karena itu, pertumbuhan primer mempengaruhi ukuran akar dan batang pada tumbuhan. Pertumbuhan primer diantaranya adalah pembentukan lapisan epidermis, korteks, xilem primer, floem primer juga empelur. Pertumbuhan primer menghasilkan apa yang disebut tubuh primer tumbuhan (*primary plant body*) yang terdiri dari tiga sistem jaringan, jaringan dermal, jaringan pembuluh (*vaskular*) dan jaringan dasar. Herba dan bagian termuda suatu tumbuhan berkayu menunjukkan bagian primer tumbuhan. Meskipun meristem apikal bertanggung jawab terhadap pembesaran akar dan tunas, terdapat perbedaan penting dalam pertumbuhan primer kedua jenis organ ini. (Campbell *et al.*, 2000, hlm. 304).

Aktivitas sel-sel meristem menyebabkan batang dan akar tumbuh memanjang yang disebut proses pertumbuhan primer. Pada akhir proses perkecambahan tumbuhan membentuk akar; batang, dan daun. Pada ujung batang dan akar terdapat sel-sel meristem yang dapat berdiferensiasi menjadi sel-sel yang memiliki struktur dan fungsi khusus. Daerah pertumbuhan pada ujung batang dan akar menurut aktivitasnya dapat dibedakan menjadi tiga bagian:

- 1) Daerah pembelahan, terdapat dibagian ujung yang sel-selnya aktif membelah dan sifatnya tetap meristem.
- 2) Daerah perpanjangan sel, terletak dibelakang daerah pembelahan yang merupakan daerah dimana setiap sel memiliki aktivitas untuk membesar dan memanjang.
- 3) Daerah diferensiasi merupakan daerah yang sel-selnya memiliki struktur dan fungsi khusus. Meristem ujung batang membentuk primordia daun. Pada sudut daun dan batang terdapat sel-sel yang

dipertahankan sebagai sel-sel meristematis yang akan berkembang menjadi cabang.



Gambar 9.3 Gambar Pertumbuhan Primer Pada Tumbuhan

(Sumber: Campbell *et al.*, 2000: 304)

3. Pertumbuhan Sekunder

Pertumbuhan sekunder disebabkan oleh aktivitas jaringan meristem sekunder seperti pada jaringan kambium pada batang tumbuhan dikotil dan *Gymnospermae*. Semakin tua umur tumbuhan, batang tumbuhan dikotil akan semakin besar. Hal ini disebabkan adanya proses pertumbuhan sekunder. Pertumbuhan sekunder ini tidak terjadi pada tumbuhan monokotil. Bagian yang paling berperan dalam pertumbuhan sekunder ini adalah cambium. Sel-sel jaringan kambium senantiasa membelah yaitu ke arah dalam membentuk xylem atau kayu sedangkan pembelahan ke luar membentuk floem atau kulit kayu yang menyebabkan diameter batang dan akar bertambah besar. Kambium pada posisi seperti ini dinamakan kambium intravaskuler. Sel-sel parenkim yang terdapat di antara pembuluh, lama kelamaan berubah menjadi

cambium. Kambium ini dinamakan cambium intervaskuler.

Kedua macam kambium tersebut lama kelamaan akan bersambungan. Posisi cambium ini akan terus berkembang membentuk xylem sekunder dan floem sekunder sehingga batang menjadi semakin besar. Akibat semakin besarnya batang, diperlukan jalan untuk mengangkut makanan ke arah samping (lateral). Untuk keperluan tersebut dibentuklah jari-jari empulur.

Aktivitas pertumbuhan kambium tidak selalu sama antara musim penghujan dengan musim kemarau. Di musim penghujan, air dan zat hara terlarut tersedia dengan melimpah sehingga pembelahan sel lebih giat. Sebaliknya di musim kemarau, ketersediaan air berkurang sehingga aktivitas pembelahan sel berkurang. Aktivitas pembelahan yang berbeda ini tampak sebagai cincin-cincin konsentris pada batang yang disebut lingkaran tahun. Perkembangan pada tumbuhan merupakan diferensiasi atau spesialisasi sel atau bagian-bagian tumbuhan untuk melakukan fungsi khusus (menjadi dewasa). Perkembangan pada tingkat sel misalnya sel-sel hasil pembelahan jaringan meristem mengalami diferensiasi membentuk jaringan pengangkut.

Contoh perkembangan pada tingkat organ misalnya terbentuknya organ generatif yaitu munculnya bunga. Beberapa jenis tumbuhan memiliki umur yang berbeda-beda untuk berkembang menjadi dewasa. Masa dewasa ditandai dengan kemampuan berkembang biak secara generatif. Jadi ketika suatu tumbuhan telah membentuk bunga berarti tumbuhan itu telah dewasa dan dapat bereproduksi secara generatif (menghasilkan biji). Biji merupakan calon individu yang dapat tumbuh dan berkembang jika menemukan kondisi lingkungan yang sesuai.

C. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman.

Pengaruh lingkungan terhadap pertumbuhan tanaman dapat dibagi

atas dua faktor yaitu lingkungan dan genetik. Lingkungan tumbuh tanaman sendiri dapat dikelompokkan atas lingkungan biotik (tumbuhan lain, hama, penyakit dan manusia), dan abiotik (tanah dan iklim). (Ida Herlina, Dkk, hlm. 11).

Faktor internal (dalam) yaitu yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan dari dalam tumbuhan yaitu faktor genetik (hereditas), enzim dan zat pengatur tumbuh (hormon). Genetik mempengaruhi ciri dan sifat makhluk hidup, gen juga dapat menentukan kemampuan metabolisme makhluk hidup, sehingga mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangannya. Enzim merupakan suatu makromolekul (*protein*) yang mempercepat suatu reaksi kimia dalam tubuh makhluk hidup. Hormon-hormon mengontrol pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan dengan memengaruhi pembelahan, pemanjangan, dan diferensiasi sel-sel. Beberapa jenis hormone juga memerantarai respons-respons fisiologi tumbuhan yang berjangka lebih pendek terhadap stimulus-stimulus lingkungan. (Campbell *et al.*, 2008, hlm. 415).

Selain faktor internal, pertumbuhan dan perkembangan tanaman dipengaruhi oleh faktor eksternal. Faktor eksternal adalah faktor dari luar tumbuhan yang dapat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Faktor eksternal tersebut. Suhu udara mempengaruhi kecepatan pertumbuhan maupun sifat dan struktur tanaman. Tumbuhan dapat tumbuh dengan baik pada suhu optimum. Untuk tumbuhan daerah tropis suhu optimumnya berkisar 22-37°C. Suhu optimum berkisar antara 25-30°C.

Cahaya berpengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan makhluk hidup. Tumbuhan sangat membutuhkan cahaya matahari untuk fotosintesis. Hara dan air memegang peranan penting dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Salah satu fungsi dari kedua bahan ini adalah sebagai bahan pembangunan tubuh makhluk hidup. Pertumbuhan yang terjadi pada tanaman (sampai batas tertentu) disebabkan oleh tanaman mendapatkan hara dan air. Bahan baku pada proses fotosintesis

adalah hara dan air yang nantinya akan diubah tanaman menjadi makanan.

Unsur hara yang dibutuhkan tanaman dapat dibagi atas dua kelompok yaitu hara makro dan mikro. Hara makro adalah hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah besar sedangkan hara mikro dibutuhkan dalam jumlah kecil. Nutrisi yang tergolong ke dalam hara makro adalah Carbon, Hidrogen, Oksigen, Nitrogen, Sulfur, Posfor, Kalium, Calsium, Ferrum. Sedangkan yang termasuk golongan hara mikro adalah Boron, Mangan, Molibdenum, Zinkum (seng), Cuprum (tembaga) dan Klor. Jika tanaman kekurangan dari salah satu unsur tersebut di atas maka tanaman akan mengalami gejala defisiensi yang berakibat pada penghambatan pertumbuhan. Besarnya curah hujan mempengaruhi kadar air tanah, aerasi tanah, kelembaban udara dan secara tidak langsung juga menentukan jenis tanah sebagai tempat media tumbuh tanaman. Keadaan Tanah merupakan komponen hidup dari lingkungan yang penting dalam mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Tanahlah yang menentukan penampilan tanaman. Kondisi kesuburan tanah yang relatif rendah akan mengakibatkan terhambatnya pertumbuhan tanaman dan akhirnya akan mempengaruhi hasil. Keadaan fisik tanah, yang ditentukan oleh struktur dan tekstur tanah karenanya pengaruhnya terhadap aerasi dan drainase tanah.

TUGAS :

1. Tuliskan pengertian pertumbuhan dan perkembangan!
2. Tunjukkan dan gambarkan lokasi pertumbuhan primer dan pertumbuhan sekunder suatu tumbuhan!
3. Jabarkan 4 hal yang terlibat dalam pengaturan pertumbuhan dan perkembangan!
4. Uraikan jenis pengontrolan pada perkembangan!

BAB X

PERKECAMBAHAN DAN DORMANSI PADA BIJI

A. Perkecambahan pada Biji

Perkecambahan merupakan permulaan kembali pertumbuhan tumbuhan embrio di dalam biji. Yang diperlukannya ialah suhu yang cocok, banyaknya air yang memadai, dan persediaan oksigen yang cukup. Periode dormansi juga merupakan persyaratan bagi perkecambahan banyak biji, sebagai contoh, biji buah apel hanya dapat berkecambah setelah masa dingin yang lama.

Ada bukti bahwa pencegah kimia terdapat di dalam bijinya ketika terbentuk. Pencegah ini lambat laun dipecah pada suhu rendah sampai tidak lagi memadai untuk menghalangi perkecambahan ketika kondisi lainnya menjadi baik. Bagi banyak tumbuhan Angiospermae di gurun pasir mempunyai pencegah yang telah terkikis oleh air dalam tanah. Dalam proses ini lebih banyak air diperlukan daripada yang harus ada untuk perkecambahan itu sendiri.

Terbuka terhadap cahaya untuk waktu yang sesuai juga merupakan persyaratan bagi perkecambahan untuk beberapa kasus. Biji-biji beberapa tumbuhan yang terdapat di tempat-tempat berawa hanya akan berkecambah setelah lama terkena cahaya matahari. Sebaliknya, perkecambahan biji tumbuhan gurun pasir tertentu justru terhalang kalau terlalu lama terkena cahaya (Kimball, 1996).

B. Dormansi pada Biji

Dormansi adalah suatu keadaan berhenti tumbuh yang dialami organisme hidup atau bagiannya sebagai tanggapan atas suatu keadaan yang tidak mendukung pertumbuhan normal. Dengan demikian, dormansi merupakan suatu reaksi atas keadaan fisik atau lingkungan tertentu. Pemicu dormansi dapat bersifat mekanis, keadaan fisik lingkungan, atau kimiawi. Pada beberapa jenis varietas tanaman tertentu, sebagian atau seluruh benih menjadi dorman sewaktu dipanen,

sehingga masalah yang sering dihadapi oleh petani atau pemakai benih adalah bagaimana cara mengatasi dormansi tersebut.

Kondisi dormansi mungkin dibawa sejak benih masak secara fisiologis ketika masih berada pada tanaman induknya atau mungkin setelah benih tersebut terlepas dari tanaman induknya. Dormansi pada benih dapat disebabkan oleh keadaan fisik dari kulit biji dan keadaan fisiologis dari embrio atau bahkan kombinasi dari kedua keadaan tersebut.

Benih dikatakan dorman apabila benih tersebut sebenarnya hidup tetapi tidak berkecambah walaupun diletakkan pada keadaan yang secara umum dianggap telah memenuhi persyaratan bagi suatu perkecambahan. Dormansi pada benih berlangsung selama beberapa hari, semusim, bahkan sampai beberapa tahun tergantung pada jenis tanaman dan tipe dari dormansinya (Sutopo, 2004).

Masih sangat minim kepustakaan mengenai hubungan antara ukuran atau bobot benih dengan masa hidup benih yang dilakukan melalui percobaan penyimpanan. Akan tetapi penelitian yang memperlihatkan keunggulan benih berat dan masak terhadap benih ringan dan belum masak melalui uji daya kecambah, vigor dan panennya, telah banyak dilakukan. Meski demikian penelitiannya mendukung pendapat bahwa kelemahan-kelemahan yang terdapat pada benih belum masak juga terdapat pada benih kecil (Justice dan Bass, 1990).

Biji-biji dari banyak spesies tidak akan berkecambah pada keadaan gelap. Biji-biji itu memerlukan rangsangan cahaya. Nampaknya ada dua himpunan tekanan ekologis yang mempengaruhinya. Pertama, biji-bijian dari banyak tanaman-tanaman pengganggu, seperti halnya berbagai macam spesies *chenopodium* yang merupakan ciri dari tanah dan mungkin terkubur pada kedalaman tertentu karena pengolahan tanah nampaknya memerlukan kondisi yang baik untuk mengatasinya bila mereka tidak berkecambah sampai mereka dapat kembali muncul ke permukaan (Andani dan Purbayanti, 1991).

Pengurangan kandungan lengas biji, serta suhu dan kelembaban relatif di tempat biji disimpan, memperpanjang umur penyimpanan kebanyakan biji. Laju perkecambahan menurun dengan menurunnya potensial lengas tanah dan untuk

jagung, berhenti pada 1,25 Mpa. Suhu tanah 26° - 30° C adalah optimum untuk perkecambahan dan pertumbuhan semai awal (Tohari, 1999).

Zat-zat penghambat perkecambahan yang diketahui terdapat pada tanaman antara lain adalah ammonia, abscisis acid, benzoic acid, ethylene, alkaloid, alkaloids lactone (antara lain coumarin). Coumarin diketahui menghambat kerja enzim. Enzim penting dalam perkecambahan (Sutopo, 2004).

Perkecambahan mencapai puncaknya sebesar 72% pada tahun ketujuh. Setelah panen, pendinginan di laboratorium dengan larutan KNO₃ merangsang perkecambahan hampir seluruh biji (Gardner dkk, 1991).

Dormansi dapat didefinisikan sebagai suatu keadaan pertumbuhan dan metabolisme yang terpendam, dapat disebabkan oleh kondisi lingkungan yang tidak baik atau oleh faktor dari dalam tumbuhan itu sendiri. Seringkali banyak tumbuhan yang dorman gagal tumbuh meskipun berada dalam kondisi yang ideal.

Dormansi merupakan suatu mekanisme untuk mempertahankan diri terhadap suhu yang sangat rendah (membeku) pada musim dingin, atau kekeringan di musim panas yang merupakan bagian penting dalam perjalanan hidup tumbuhan tersebut. Dengan demikian, dormansi merupakan suatu reaksi atas keadaan fisik atau lingkungan tertentu. Pemicu dormansi dapat bersifat mekanis, keadaan fisik lingkungan, atau kimiawi.

Banyak biji tumbuhan budidaya yang menunjukkan perilaku ini. Penanaman benih secara normal tidak menghasilkan perkecambahan atau hanya sedikit perkecambahan. Perlakuan tertentu perlu dilakukan untuk mematahkan dormansi sehingga benih menjadi tanggap terhadap kondisi yang kondusif bagi pertumbuhan. Bagian tumbuhan yang lainnya yang juga diketahui berperilaku dorman adalah kuncup.

Penyebab Terjadinya Dormansi

Benih yang mengalami dormansi ditandai oleh :

1. Rendahnya atau tidak adanya proses imbibisi air.
2. Proses respirasi tertekan atau terhambat.
3. Rendahnya proses mobilisasi cadangan makanan.

4. Rendahnya proses metabolisme cadangan makanan.

Tipe-Tipe Dormansi

Secara umum menurut Aldrich (1984) Dormansi dikelompokkan menjadi 2 tipe yaitu:

- a. Innate dormansi (dormansi primer)
- b. Induced dormansi (dormansi sekunder)

a. Dormansi Primer

Dormansi primer adalah dormansi yang paling sering terjadi, terdiri dari dua sifat:

1. Dormansi eksogenous yaitu kondisi dimana komponen penting perkecambahan tidak tersedia bagi benih dan menyebabkan kegagalan dalam perkecambahan. Tipe dormansi tersebut berhubungan dengan sifat fisik dari kulit benih serta faktor lingkungan selama perkecambahan.
2. Dormansi endogenous yaitu dormansi yang disebabkan karena sifat-sifat tertentu yang melekat pada benih, seperti adanya kandungan inhibitor yang berlebih pada benih, embrio benih yang rudimenter dan sensitivitas terhadap suhu dan cahaya.

b. Dormansi Sekunder

Dormansi sekunder adalah sifat dormansi yang terjadi karena dihilangkannya satu atau lebih faktor penting perkecambahan. Dormansi sekunder disini adalah benih-benih yang pada keadaan normal maupun berkecambah, tetapi apabila dikenakan pada suatu keadaan yang tidak menguntungkan selama beberapa waktu dapat menjadi kehilangan kemampuannya untuk berkecambah. Kadang-kadang dormansi sekunder ditimbulkan bila benih diberi semua kondisi yang dibutuhkan untuk berkecambah kecuali satu. Misalnya kegagalan memberikan cahaya pada benih yang membutuhkan cahaya. Diduga dormansi sekunder tersebut disebabkan oleh perubahan fisik yang terjadi pada kulit biji yang diakibatkan oleh pengeringan yang berlebihan sehingga pertukaran gas-gas pada saat imbibisi menjadi lebih terbatas.

Bentuk-Bentuk Dormansi

a. Kulit biji impermeabel terhadap air atau O₂

1. Bagian biji yang impermeabel: membran biji, kulit biji, *nucellus*, pericarp, endocarp.
2. Impermeabilitas dapat disebabkan oleh deposisi bermacam-macam substansi (misalnya cutin, suberin, lignin) pada membran.
3. Kulit biji yang keras dapat disebabkan oleh pengaruh genetik maupun lingkungan. Pematahan dormansi kulit biji ini dapat dilakukan dengan skarifikasi mekanik.
4. Bagian biji yang mengatur masuknya air ke dalam biji: mikrofil, kulit biji, raphe / hilum, strophiole; adapun mekanisme higroskopiknya diatur oleh hilum.
5. Keluar masuknya O₂ pada biji disebabkan oleh mekanisme dalam kulit biji. Dormansi karena hambatan keluar masuknya O₂ melalui kulit biji ini dapat dipatahkan dengan perlakuan temperatur tinggi dan pemberian larutan kuat.

b. Biji membutuhkan suhu rendah

Biasa terjadi pada spesies daerah temperate, seperti apel dan Familia Rosaceae. Dormansi ini secara alami terjadi dengan cara: biji dorman selama musim gugur, melampaui satu musim dingin, dan baru berkecambah pada musim semi berikutnya. Dormansi karena kebutuhan biji akan suhu rendah ini dapat dipatahkan dengan perlakuan pemberian suhu rendah, dengan pemberian aerasi dan imbibisi (Anonim, 2008).

Ciri-ciri biji yang mempunyai dormansi ini adalah:

1. Jika kulit dikupas, embrio tumbuh.
2. Embrio mengalami dormansi yang hanya dapat dipatahkan dengan suhu rendah.
3. Embrio tidak dorman pada suhu rendah, namun proses perkecambahan biji masih membutuhkan suhu yang lebih rendah lagi.

4. Perkecambahan terjadi tanpa pemberian suhu rendah, namun semai tumbuh kerdil.
5. Akar keluar pada musim semi, namun epikotil baru keluar pada musim semi berikutnya (setelah melampaui satu musim dingin).

c. Biji Bersifat *Light Sensitive*

Cahaya mempengaruhi perkecambahan dengan tiga cara, yaitu dengan intensitas (kuantitas) cahaya, kualitas cahaya (panjang gelombang) dan fotoperiodisitas (panjang hari).

d. Kuantitas Cahaya

Biji-bijian dari banyak spesies tidak akan berkecambah pada keadaan gelap, biji-biji itu memerlukan rangsangan cahaya. Karena itu kelihatannya perkecambahan yang dikendalikan cahaya merupakan satu adaptasi tanaman yang tidak toleran terhadap pencahayaan. Cahaya sendiri memiliki suatu intensitas, kerapatan pengaliran atau intensitas menunjukkan pengaruh primernya terhadap fotosintesis dan pengaruh sekundernya pada morfogenetika pada intensitas rendah, tetapi sebagian memerlukan energi yang lebih besar (Zhamal, 2008).

Cahaya dengan intensitas tinggi dapat meningkatkan perkecambahan pada biji-biji yang *positively photoblastic* (perkecambahannya dipercepat oleh cahaya); jika penyinaran intensitas tinggi ini diberikan dalam durasi waktu yang pendek. Hal ini tidak berlaku pada biji yang bersifat *negatively photoblastic* (perkecambahannya dihambat oleh cahaya) (Elisa, 2006).

Biji *positively photoblastic* yang disimpan dalam kondisi imbibisi dalam gelap untuk jangka waktu lama akan berubah menjadi tidak responsif terhadap cahaya, dan hal ini disebut *skotodormant*. Sebaliknya, biji yang bersifat *negatively photoblastic* menjadi *photodormant* jika dikenai cahaya. Kedua dormansi ini dapat dipatahkan dengan temperatur rendah (Elisa, 2006).

e. Kualitas Cahaya

Yang menyebabkan terjadinya perkecambahan adalah daerah merah dari spektrum (red; 650 nm), sedangkan sinar infra merah (far red; 730 nm) menghambat perkecambahan. Efek dari kedua daerah di spektrum ini adalah *mutually antagonistic* (sama sekali bertentangan): jika diberikan bergantian, maka

efek yang terjadi kemudian dipengaruhi oleh spektrum yang terakhir kali diberikan. Dalam hal ini, biji mempunyai 2 pigmen yang *photoreversible* (dapat berada dalam 2 kondisi alternatif): P650 : mengabsorbir di daerah merah , P730 : mengabsorbir di daerah infra merah. Jika biji dikenai sinar merah (red; 650 nm), maka pigmen P650 diubah menjadi P730. P730 inilah yang menghasilkan sederetan aksi-aksi yang menyebabkan terjadinya perkecambahan. Sebaliknya jika P730 dikenai sinar infra merah (far-red; 730 nm), maka pigmen berubah kembali menjadi P650 dan terhambatlah proses perkecambahan (Elisa, 2006).

f. Photoperiodisitas

Respon dari biji photoblastic dipengaruhi oleh temperatur:

1. Pemberian temperatur 10-20°C: biji berkecambah dalam gelap
2. Pemberian temperatur 20-30°C: biji menghendaki cahaya untuk berkecambah
3. Pemberian temperatur >35°C: perkecambahan biji dihambat dalam gelap atau terang
4. Kebutuhan akan cahaya untuk perkecambahan dapat diganti oleh temperatur yang diubah-ubah. Kebutuhan akan cahaya untuk pematangan dormansi juga dapat digantikan oleh zat kimia seperti KNO₃, thiourea dan asam giberelin (Agrica, 2009).

TUGAS:

1. Uraikan fungsi fisiologis dormansi bagi tumbuhan dalam!
2. Buatlah suatu analisis kritis anda untuk menjabarkan mekanisme pematangan dormansi yang melibatkan kegiatan metabolisme dan enzim dalam tumbuhan!

GLOSARIUM:

Aerasi :	Suatu proses penambahan udara atau oksigen dalam air dengan membawa air dan udara ke dalam kontak yang dekat, dengan cara menyemprotkan air ke udara atau dengan memberikan gelembung-gelembung halus udara dan membiarkannya naik melalui air.
Alkaloida :	Sebuah golongan senyawa basa bernitrogen yang kebanyakan heterosiklik dan terdapat di tetumbuhan
Antosianin :	Pigmen yang larut di air yang secara alami terdapat pada berbagai jenis tumbuhan.
Apoenzim :	Bagian protein yang tidak tahan panas.
Badan golgi :	Struktur berbentuk kantung pipih dan bermembran ganda yang berperan dalam pembentukan lisosom, peroksisom serta akrosom sperma serta proses sekresi sel dan modifikasi bahan-bahan hasil sintesis dalam sel.
Bintil Akar :	Tonjolan kecil di akar yang terbentuk akibat infeksi bakteri pengikat nitrogen yang bersimbiosis secara mutualistik dengan tumbuhan.
Deposisi :	Perubahan wujud suatu zat dari wujud gas berubah menjadi wujud padat.
Difusi :	Perpindahan ion atau molekul dari konsentrasi tinggi (hipertonik) ke konsentrasi rendah (hipotonik) dengan atau tanpa membran semipermeabel.

Dikotil :	Tumbuhan yang punya biji berkeping.
Dinding sel :	Struktur di luar membran plasma yang membatasi ruang bagi sel untuk membesar.
Dormansi :	Suatu keadaan berhenti tumbuh yang dialami organisme hidup atau bagiannya sebagai tanggapan atas suatu keadaan yang tidak mendukung pertumbuhan normal.
Dormansi eksogenous :	Kondisi dimana komponen penting perkecambahan tidak tersedia bagi benih dan menyebabkan kegagalan dalam perkecambahan.
Dormansi endogenous :	Dormansi yang disebabkan karena sifat-sifat tertentu yang melekat pada benih
Dormansi primer :	Semua dormansi yang disebabkan oleh sifat fisik dan fisiologi dari benih.
Dormansi sekunder :	Sifat dormansi yang terjadi karena dihilangkannya satu atau lebih faktor penting perkecambahan.
Drainase :	Pembuangan massa air secara alami atau buatan dari permukaan atau bawah permukaan dari suatu tempat.
Embrio :	Struktur yang berasal dari pembuahan sel telur (gamet betina) oleh sperma (gamet jantan).

Endocarp :	Lapisan terdalam dari pericarp, terdiri atas jaringan dengan sel yang berdinding tebal, disebut stony part keras diwaktu matang.
Enzim :	Biomolekul yang berfungsi sebagai katalis (senyawa yang mempercepat proses reaksi tanpa habis bereaksi) dalam suatu reaksi kimia.
Epikotil :	Batang di atas kotiledon yang akan tumbuh menjadi batang dan daun.
Fiksasi Nitrogen :	Proses yang menggabungkan nitrogen bebas dengan unsur lain secara kimia yang disebut <i>penambatan nitrogen</i> .
Flavonoid :	Senyawa yang terdiri dari 15 atom karbon yang umumnya tersebar di dunia tumbuhan.
Foton :	Partikel elementer dalam fenomena elektromagnetik. Biasanya foton dianggap sebagai pembawa radiasi elektromagnetik, seperti cahaya, gelombang radio, dan Sinar-X.
Fotorespirasi :	Respirasi, proses pembongkaran karbohidrat untuk menghasilkan energi dan hasil samping, yang terjadi pada siang hari.
Fotosistem :	Suatu unit yang mampu menangkap energi cahaya Matahari yang terdiri dari klorofil a, kompleks antena, dan akseptor elektron.
Fotosintesis :	Suatu proses biokimia yang dilakukan tumbuhan untuk memproduksi energi terpakai (nutrisi) dengan memanfaatkan energi cahaya.

Fototrof :	Organisme yang menghasilkan energi melalui fotosintesis (photos berarti cahaya).
Glikolisis :	Serangkaian reaksi biokimia di mana glukosa dioksidasi menjadi molekul asam piruvat.
Glukosa :	Salah satu karbohidrat terpenting yang digunakan sebagai sumber tenaga bagi hewan dan tumbuhan. Glukosa merupakan salah satu hasil utama fotosintesis dan awal bagi respirasi.
Grana :	Tumpukan, yang dibentuk dengan menggabungkan 2 hingga 100 tilakoid bersama-sama.
Gugus Prostetik :	Bagian enzim yang berupa non protein.
Hereditas :	Pewarisan watak dari induk ke keturunannya baik secara biologis melalui gen atau secara sosial melalui pewarisan gelar, atau status sosial.
Hilum :	Bekas luka berbentuk bulat panjang pada biji, yang menandai titik perlekatan pada wadah bijinya.
Imbibisi :	Peresapan air ke dalam ruangan antar dinding sel, sehingga dinding selnya akan mengembang.
Impermeabel :	Membran yang tidak memungkinkan cairan atau gas apapun masuk melawatnya.
Jasad Renik :	Mahluk hidup yang terdiri dari satu atau beberapa kumpulan sel dengan ukuran beberapa mikron.

Kambium :	Lapisan jaringan meristematik pada tumbuhan yang sel-selnya aktif membelah dan bertanggung jawab atas pertumbuhan sekunder tumbuhan.
Kambium vaskuler :	Kambium yang terdapat di dalam berkas pengangkutan (di antara phloem dan xylem).
Karbohidrat :	Segolongan besar senyawa organik yang paling melimpah di bumi. Karbohidrat merupakan suatu zat gizi yang memiliki fungsi sebagai penghasil energi. Karbohidrat sendiri terdiri atas karbon, hidrogen, dan oksigen.
Karotenoid :	Pigmen organik yang ditemukan dalam kloroplas dan kromoplas tumbuhan dan kelompok organisme lainnya seperti alga, sejumlah bakteri, dan beberapa fungi. Karotenoid dapat diproduksi oleh semua organisme tersebut dari lipid dan molekul-molekul penyusun metabolit organik dasar.
Katalis :	Suatu zat yang mempercepat laju reaksi kimia pada suhu tertentu, tanpa mengalami perubahan atau terpakai oleh reaksi itu sendiri.
Kemosintesis :	Konversi biologis dari satu atau lebih molekul yang mengandung karbon dan nutrisi menjadi bahan organik menggunakan oksidasi senyawa anorganik atau metana sebagai sumber energi, bukannya sinar matahari seperti dalam fotosintesis.

Kloroplas :	Sebuah <i>plastida</i> yang mengandung <i>klorofil</i> , dan berfungsi sebagai tempat berlansungnya proses fotosintesis.
Kofaktor :	Senyawa kimia non-protein yang diperlukan untuk aktivitas biologis protein.
Kotiledon :	Bakal daun yang terbentuk, dan melekat pada embrio dengan hipokotil.
Lignin atau zat kayu :	Salah satu zat komponen penyusun tumbuhan.
Membran plasma :	Bagian sel yang membatasi bagian dalam sel dengan lingkungan disekitarnya, membran ini dimiliki oleh semua jenis sel.
Meristem :	Jaringan pada tumbuhan berwujud sekumpulan sel-sel punca yang aktif melakukan pembelahan sel.
Mesofil :	Jaringan yang ditemukan di bagian dalam daun, tersusun dari sel parenkim yang fotosintetik, yang juga disebut sel klorenkim.
Metabolisme :	Seluruh reaksi kimia yang bertujuan untuk mempertahankan kehidupan yang terjadi di dalam suatu organisme.
Mikrofil :	Sel kelamin jantan yang menghasilkan sperma, dan meemiliki ukuran yang lebih kecil.
Mitokondria :	Organel sel yang berfungsi sebagai tempat berlangsungnya fungsi respirasi sel pada makhluk hidup.

Monokotil :	Tumbuhan dengan keping biji yang tunggal.
Nukleus :	Organel yang ditemukan pada sel eukariotik. Nukleus mengandung beberapa materi genetik seperti DNA, Kromosom dan protein
Nukleotida :	Senyawa organik yang berperan sebagai monomer penyusun polimer asam nukleat - asam deoksiribonukleat dan asam ribonukleat - keduanya adalah biomolekul penting yang menyusun makhluk hidup di bumi.
Nucellus :	Jaringan di tengah-tengah bakal biji yang berisi kantung embrio dan dikelilingi oleh integumen.
Organ generatif :	Organ yang berfungsi untuk proses berkembangbiak tumbuhan.
Organ vegetatif :	Bagian-bagian tumbuhan yang digunakan untuk mendukung pertumbuhan si tumbuhan.
Organisme Multisel :	Organisme yang terdiri lebih dari satu sel, berbeda dengan organisme uniseluler.
Osmosis :	Proses perpindahan air dari daerah yang berkonsentrasi rendah (hipotonik) ke daerah yang berkonsentrasi tinggi (hipertonik) melalui membran semipermeabel.
Perkecambahan :	Permulaan kembali pertumbuhan tumbuhan embrio di dalam biji.

Pericarp :	Bagian terluar dari buah kopi ceri, bagian ini mempunyai tiga lapisan yaitu Eksocarp (kulit), Mesocarp (lendir) dan Endocarp (perkamen).
Peroksisom :	Organel yang terbungkus oleh membran tunggal dari lipid dwilapis yang mengandung protein pencerap (reseptor).
Plastoquinone :	Molekul kuinon isoprenoid yang terlibat dalam rantai transpor elektron dalam reaksi fotosintesis yang bergantung pada cahaya.
Pigmen :	Zat pewarna tubuh manusia, binatang, dan tumbuh-tumbuhan.
<i>Porfirin :</i>	Zat esensial di dalam tubuh manusia yang bertindak dalam mengatur fungsi dari hemoglobin.
Primordial daun :	Cikal bakal daun.
Proteinase :	Enzim golongan hidrolase yang akan memecah protein menjadi molekul yang lebih sederhana, seperti menjadi oligopeptida pendek atau asam amino, dengan reaksi hidrolisis pada ikatan peptida.
Radikula :	Bakal calon akar yang tumbuh selama masa perkecambahan.
Respirasi :	Proses penguraian bahan makanan yang menghasilkan energi.

Reticulum endoplasma :	Organel yang tidak statis dan dapat dianggap sebagai salah satu komponen dari suatu sistem dinamik yang mempunyai hubungan dengan membrane plasma dan membran luar selaput inti.
Rhizobium :	Bakteri yang bertahan sebagai saprofit dalam tanah hingga menginfeksi akar rambut atau merusak sel epidermis.
Ribosom :	Organel yang berukuran kecil dan padat dalam sel dan berperan sebagai tempat sintesis.
Rubisko :	Enzim raksasa yang berperan sangat penting dalam reaksi gelap fotosintesis tumbuhan.
Sel :	Unit fundamental bagi struktur dan fungsi kehidupan.
Siklus krebs :	Serangkaian reaksi kimia yang terjadi pada sel hidup untuk menghasilkan energi dari asetil ko-A, yaitu perubahan dari asam piruvat hasil glikolisis.
Sitoplasma :	Bagian sel yang terbungkus membran sel.
Steril :	Keadaan ataupun sesuatu yang suci hama atau bebas hama.
Sterol :	Subkelompok steroid dan merupakan kelompok penting molekul organik.
Stomata :	Bukaan-bukaan kecil di daun yang jika membuka secara maksimal hanya selebar 0,0001 mm. Stomata diapit oleh sepasang sel penjaga yang mirip dengan dua sosis yang melengkung.

Stroma :	Cairan di luar tilakoid yang mengandung DNA kloroplas dan ribosom serta banyak enzim. Fungsinya untuk reaksi gelap fotosintesis.
Transportasi tumbuhan :	Suatu mekanisme proses pengambilan dan pengeluaran zat-zat ke seluruh bagian tubuh tumbuhan.
Transpor aktif :	Sistem transportasi suatu molekul melintasi membran dengan menggunakan energi ATP.
Translokasi :	Pemindahan hasil fotosintesis dari daun atau organ tempat penyimpanannya ke bagian lain tumbuhan yang memerlukannya.
Transpirasi :	Kemampuan tanaman kehilangan air dalam bentuk uap dari jaringan tumbuhan melalui stomata.
Transpor elektron :	Proses terakhir dari respirasi aerob, dimana akan dihasilkan ATP dari NADH dan FADH ₂ hasil dari glikolisis, dekarboksilasi oksidatif, dan siklus krebs
Unsur hara :	Zat esensial bagi tanaman yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan fisiologis tanaman.
Unsur hara makro :	Unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah banyak yaitu besar dari 500 ppm.
Unsur hara mikro :	Unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang sedikit atau kurang dari 100 ppm.

Vakuola :	Bagian dari organel sitoplasmik yang berupa seperti zat cair, vakuola ini sendiri dibungkus oleh selaput yang sangat tipis atau pun tonoplas.
Zat Hara :	Bermacam-macam mineral yang terdapat di dalam tanah yang dibutuhkan oleh tumbuhan untuk melakukan fotosintesis
Zigot :	Sel yang terbentuk sebagai hasil bersatunya dua sel kelamin (sel ovum dan sel sperma) yang telah masak.

DAFTAR PUSTAKA

- Aqil M, Firmansyah I U dan Akil M. 2013. *Pengelolaan air tanaman jagung (Zea mays)*. Makasar (ID) : Balai Penelitian Tanaman Serealia.
- Ardi, Rio. 2007. *Unsure Hara Makro dan Mikro Dalam Tanah*. [terhubung berkala]. <http://rioardi.wordpress.com/2007/09/03/unsur-hara-dalam-tanah-makro-dan-mikro/>. (30 September 2020)
- Barid B. 2007. *Kajian Unit Resapan Dengan Lapisan Tanah Dan Tanaman Dalam Menurunkan Limpasan Permukaan*. Jurnal Berkala Ilmiah Teknik Perairan, Vol 13 (4) :248-255.
- Benyamin Lakitan. 1996. *Fisiologi Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman*. Jakarta : PT. Raja Grafindo Persada.
- Berg L. 2007. *Botany : Plant, People and Environment Second Edition*. Belmont, California (US) : Thomson Higher Education.
- Campbell, 1999, *Biologi, edisi kelima jilid 1*, Erlangga, Jakarta.
- Campbell, Reece, Mitchell. 2000. *Biologi Campbell*. Jakarta : Erlangga.
- Campbell, N A.,J.B. Reece, & L.G. Mithchell. 2005. *Biologi. Edisi Kelima*. Terj. dari: Biology.5th ed. oleh Manalu, W. Jakarta : Erlangga.
- Campbell, Reece, Mitchell. 2008. *Biologi Campbell*. Jakarta : Erlangga.
- Darmawan dan Baharsjah. 1983. *Pengantar Fisiologi Tumbuhan* . Jakarta : PT Gramedia.
- Dartius. 1991. *Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan*. USU-Press. Medan
- .

- Devia. 2011. *Transportaton System* (online)
http://z14.invisionfree.com/FORUM_FORUMAN/ar/t18.htm (Diakses pada tanggal 30 September 2020)
- Dwijoseputro, D. 1983. *Pengantar Fisiologi Tumbuhan*. Gramedia. Jakarta.
- Filter, A. H. dan R. K. M. Hay. 1991. *Fisiologi Lingkungan Tanaman*. UGM Press. Yogyakarta.
- Franklin P. Gardner dkk. 1991. *Fisiologi Tanaman Budidaya* (terj. Herawati Susilo), Jakarta: UI-Press.
- Hasnunidah, Neni. 2007. *Buku Ajar. Fisiologi Tumbuhan*. Universitas Lampung : Bandar Lampung.
- Heddy, S. 1990. *Biologi Pertanian*. Rajawali Press. Jakarta.
- Ida Herlina, Riana Yani Dkk. *Biologi 3 Kelas XII SMA dan MA (BSE)*. hal 11
- Kimball, Jhon.W, 1983, *Biologi, jilid 1*, Erlangga, Jakarta.
- Kimbal, John W. 1994. *Biologi. Jilid 1, 2, dan 3. Edisi kelima*. Jakarta: Erlanga.
- Lakitan, Benyamin. 2004. *Dasar dasar Fisiologi Tumbuhan*. Cetakan Kelima. PT Raja Grafindo Perkasa. p.69-71
- Lakitan, B. 2007. *Dasar-Dasar Fisiologi Tumbuhan*. Raja Grafindo Persada. Jakarta.
- Lehninger, Albert . L. 1982. *Dasar-Dasar Biokimia*. Penerbit Erlangga.
- Lukman, Diah, 1997, *Buku Ajar Fisiologi Tumbuhan*, PT. Gramedia, Jakarta.

- Parwati D U. 2013. *Pengaruh Frekuensi Peyiraman Dan Lama Penyiraman Terhadap Pertumbuhan Bibit Jarak Pagar (Jatropha curcas L.)*. Fakultas Pertanian, Instiper, Yogyakarta.
- Ross, 1995, *Fisiologi Tumbuhan*, ITB, Bandung.
- Salisbury, Frank B, dan Cleon W Ross. 1995. *Fisiologi Tumbuhan Jilid 1*. ITB. Bandung.
- Santoso B. 2010. *Faktor-Faktor Pertumbuhan Dan Penggolongan Tanaman Hias*. Fakultas Pertanian, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Sastramihardja, Drajad. 1990. *Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Suhartono. 2008. *Pengaruh Interval Pemberian Air Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Kedelai (Glicine Max (L) Merrill) Pada Berbagai Jenis Tanaman*. Embryo, Vol 5 (1) : 98-112.
- Trisna. 2013. *Peran Air* (online). : <http://www.faperta.ugm.ac.id>. (Diakses pada tanggal 30 September 2020)
- Wahono, Haikal. 2011. *Identifikasi Gejala Defisiensi dan Kelebihan Unsur Hara Mikro Pada Tanaman*.
[http://haikalblog.blogspot.com/2011/05/11/identifikasi_gejalah_defisiensi_dan kelebihan_unsur_hara_mikro_pada_tanaman.html](http://haikalblog.blogspot.com/2011/05/11/identifikasi_gejalah_defisiensi_dan_kelebihan_unsur_hara_mikro_pada_tanaman.html). (30 September 2020).
- Wilkins.M.B, 1993, *Fisiologi Tumbuhan*, Bumi Angkasa, Jakarta.

Yusuf, Tohari. 2009. *Unsur Hara dan Fungsinya*. [terhubung berkala]. <http://tohariyusuf.wordpress.com/2009/04/04/unsur-hara-dan-fungsinya/>. (30 September 2020).